



TUGAS AKHIR - RG141536

# PEMBUATAN DEM (*DIGITAL ELEVATION MODEL*) MENGUNAKAN METODE TIN, IDW, DAN KRIGING DARI DATA FOTO UDARA

JUWITA ARFAINI  
NRP 3512 100 056

Dosen Pembimbing  
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc.

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

# CREATING DEM (*DIGITAL ELEVATION MODEL*) FROM AERIAL PHOTO USING TIN, IDW, AND KRIGING METHOD

JUWITA ARFAINI  
NRP 3512 100 056

Supervisor  
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **PEMBUATAN DEM (*DIGITAL ELEVATION MODEL*) MENGUNAKAN METODE TIN, IDW, DAN KRIGING DARI DATA FOTO UDARA**

**Nama Mahasiswa** : Juwita Arfaini  
**NRP** : 3512100056  
**Jurusan** : Teknik Geomatika  
**Dosen Pembimbing** : Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc.

## **Abstrak**

*Digital Elevation Model (DEM) atau Model Ketinggian Dijital merupakan suatu model yang merepresentasikan topografi suatu permukaan. Salah satu sumber data yang digunakan untuk membuat model ketinggian dijital ini adalah menggunakan sebaran titik-titik yang memuat informasi koordinat tiga dimensi yaitu x, y, dan z di permukaan bumi. Pengambilan data sebaran titik ini dapat dilakukan melalui foto udara stereo yaitu foto udara yang saling bertampalan sehingga memberikan efek tiga dimensi yang kemudian dapat diambil informasinya.*

*Proses yang dilakukan untuk membuat sebaran titik ini kemudian disebut Stereoplotting yaitu ekstraksi data secara stereoskopis. Sebaran titik-titik yang kemudian disebut dengan mass point ini kemudian diinterpolasi menggunakan metode TIN, IDW, dan Kriging sehingga dapat diketahui perbedaan model DEM dari masing-masing metode yang diproses menggunakan sumber data yang sama. Dari hasil interpolasi tersebut selanjutnya dilakukan analisa hasil dari elevasi setelah dilakukan interpolasi sehingga diketahui presentasinya.*

*Metode TIN dan IDW memiliki kemiripan dengan memberikan presentasi yang hampir sama pada tiap-tiap kelas ketinggian, sedangkan metode Kriging lebih menampilkan hasil korelasi dari titik-titik dengan radius tertentu sehingga permukaannya tidak ada yang terlalu tinggi ataupun terlalu*

*rendah. Elevasi terkecil dan terbesar terdapat pada metode TIN yaitu sebesar 58,674 meter dan 107, 638 meter. Sementara itu, presentase persebaran ketinggian diklasifikasikan dalam 11 kelas dengan masing-masing intervalnya 5 meter. Persebaran terbesar terdapat pada range 72 – 77 meter. Dari hasil pembuatan DEM kemudian dibuat RMSE nya dengan membandingkan antara elevasi pada metode TIN, IDW, dan Kriging dengan DEM dari TerraSAR-X. Nilai yang memenuhi standar perhitungan RMSE adalah TIN dan IDW karena kurang dari sama dengan 1 meter sesuai standar RMSE dari ASPRS. Pembuatan DEM paling baik adalah menggunakan metode TIN karena memiliki RMSE terkecil yaitu 0,477 meter.*

***Kata Kunci : DEM, Foto Udara, TIN, IDW, Kriging***

# **CREATING DEM (*DIGITAL ELEVATION MODEL*) FROM AERIAL PHOTO USING TIN, IDW, AND KRIGING METHOD**

**Name** : Juwita Arfaini  
**NRP** : 3512100056  
**Department** : Teknik Geomatika  
**Supervisor** : Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc.

## ***Abstract***

*Digital Elevation Model (DEM) is a model that represents topography of an area. One of data that is used for making this model is mass point that has information about x, y, and z coordinate above the earth surface. Data for mass point is taken from stereo aerial photo, a pair of aerial photo that overlapping one and other so it give 3D effects from which the information could be extracted.*

*The process to extracting data from stereo photo is called stereo plotting or extracting data through stereoscopic way. After the mass point already extracted, the information will be interpolated using TIN, IDW, and Kriging methods so it would be known the differences of DEM from each methods that use the same mass point's data. The next step is doing analysing from interpolated elevation of DEM for getting the percentage of it.*

*TIN and IDW have similar characteristics by giving almost same percentage in each height class, otherwise Kriging shows the value of correlation from points in certain radius so the surface is calculated close to mean of height in each location. It causes Kriging has the lowest standard deviation among those three methods. TIN has the lowest and also the highest elevation from all methods as 58,674 meters and 107,638 meters. Meanwhile, elevation are divided into 11 range each range has interval of 5 meters. The highest number of elevation placed in 72 – 77 meters.*

*The other calculation came from RMSE. It's calculated between the elevation of each method in creating DEM, TIN, IDW, and Kriging, and the elevation that is derived from DEM TerraSAR-X. The result shows that TIN and IDW fulfils the standard of RMSE from ASPRS, less or same with 1 meter. In this research, TIN has the lowest RMSE value of all by giving 0,477 meter.*

**Keyword : DEM, Aerial Photo, TIN, IDW, Kriging**



**PEMBUATAN DEM (*DIGITAL ELEVATION MODEL*)  
MENGUNAKAN METODE TIN, IDW, DAN  
KRIGING DARI DATA FOTO UDARA**

**TUGAS AKHIR**  
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**JUWITA ARFAINI**  
NRP. 3512 100 056

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Hesti Hapsari Handayani, S.T.  
NIP. 1978 1212 2005 01 2001



**SURABAYA, JUNI 2016**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat diberi kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Pembuatan DEM (*Digital Elevation Model*) Menggunakan Metode TIN, IDW, dan *Kriging* dari Data Foto Udara”**.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak.

Penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan serta dukungan yang telah diberikan atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Allah SWT atas diberi-Nya segala kemudahan, kelancaran, rahmat, serta hidayah
2. Orang tua yang selalu memotivasi, mendoakan, memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial selama pengerjaan Tugas Akhir ini
3. Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, ilmu, kesempatan, dan waktu, untuk membantu penulis
4. Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS
5. Seluruh staf pengajar Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan bimbingan dan materi perkuliahan
6. Seluruh staf tata usaha Teknik Geomatika ITS
7. HHH Team (Seli, Sani, Dino, Reza, Putri) sebagai rekan satu bimbingan Tugas Akhir yang sangat banyak membantu dan memotivasi
8. Teman-teman Teknik Geomatika ITS 2012 atas bantuan, semangat, dan motivasinya
9. Mbak Nurul, salah satu staf di Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG

10. Serta seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK .....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR RUMUS.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Fotogrametri.....	5
2.1.1 <i>Space Resection</i> .....	7
2.1.2 <i>Space Intersection</i> .....	8
2.2 <i>Stereovision</i> .....	8
2.3 <i>Parallax</i> .....	9
2.4 <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> .....	12
2.5 <i>Mass point</i> .....	13
2.6 Metode Pembuatan DEM.....	15
2.6.1 <i>TIN (Triangulated Irregular Network)</i> .....	15
2.6.2 <i>IDW (Inverse Distance Weighted)</i> .....	16
2.6.3 <i>Kriging</i> .....	18
2.7 <i>RMSE (Root Mean Square Error)</i> .....	20
2.8 Penelitian Terdahulu .....	21

BAB III METODOLOGI .....	23
3.1 Lokasi Penelitian .....	23
3.2 Data dan Peralatan .....	24
3.1.1 Data .....	24
3.1.2 Peralatan .....	24
3.3 Metodologi Penelitian .....	24
3.3.1 Tahap Penelitian .....	24
3.3.2 Tahap Pengolahan Data .....	27
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Hasil .....	31
4.1.1 Hasil <i>Stereomodel</i> .....	31
4.1.2 Hasil Pembuatan <i>Mass point</i> .....	32
4.1.3 Hasil Pembuatan DEM .....	36
4.1.4 Hasil Perbandingan Ketelitian DEM dengan TerraSAR-X .....	44
4.2 Pembahasan .....	46
4.2.1 Analisa Pembuatan <i>Stereo Model</i> .....	46
4.2.2 Analisa Pembuatan <i>Mass point</i> .....	49
4.2.3 Analisa Pembuatan DEM .....	50
4.2.4 Analisa Ketelitian DEM .....	56
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	59
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	60
 DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN .....	65
BIODATA PENULIS .....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kondisi Kolinear .....	6
Gambar 2.2. Paralaks stereoskopik dari foto udara tegak .....	9
Gambar 2.3. Prinsip titik apung ( <i>floating mark</i> ) .....	11
Gambar 2.4. Contoh DSM (kiri) dan DTM (kanan).....	13
Gambar 2.5. Model sebaran <i>mass point</i> .....	14
Gambar 2.6. Contoh hasil penggunaan metode TIN .....	16
Gambar 2.7. Contoh hasil penggunaan metode IDW .....	17
Gambar 2.8. Contoh hasil penggunaan metode <i>Kriging</i> .....	20
Gambar 3.1. Lokasi penelitian, Kecamatan Tegineneng.....	23
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 3.3. Diagram alir pengolahan data.....	28
Gambar 4.1. Simbol pembuatan <i>project</i> untuk model stereo ....	31
Gambar 4.2. Salah satu contoh model stereo .....	32
Gambar 4.3. Hasil pembuatan <i>mass point</i> .....	36
Gambar 4.4 Hasil pembuatan DEM metode TIN .....	39
Gambar 4.5. Presentase penyebaran elevasi dari metode TIN ..	40
Gambar 4.6 Hasil pembuatan DEM metode IDW.....	41
Gambar 4.7. Presentase penyebaran elevasi dari metode IDW.	42
Gambar 4.8. Hasil pembuatan DEM metode <i>Kriging</i> .....	43
Gambar 4.9. Presentase penyebaran elevasi dari metode <i>Kriging</i> .....	44
Gambar 4.10. Sebaran titik sampel untuk perhitungan RMSE..	46
Gambar 4.11. Sebaran GCP yang digunakan .....	47
Gambar 4.12. Foto udara dan GCP .....	48
Gambar 4.13. Perbandingan presentase <i>range</i> elevasi dalam grafik .....	53
Gambar 4.14. Perbandingan nilai maksimal dan minimal metode 5TIN, IDW, dan <i>Kriging</i> .....	55
Gambar 4.15. Perbandingan nilai RMSE dalam grafik.....	57

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Deskripsi pembuatan <i>mass point</i> .....	34
Tabel 4.2. <i>Range</i> kelas ketinggian.....	37
Tabel 4.3 Perbedaan pembuatan <i>mass point</i> pada unsur yang digunakan .....	49
Tabel 4.4 Presentase luasan hasil pembuatan DEM menggunakan metode TIN, IDW, dan <i>Kriging</i> .....	50
Tabel 4.5. Nilai statistik dari hasil interpolasi .....	54
Tabel 4.6. Akurasi Vertikal ASPRS .....	55

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1. Persamaan Kolinearitas.....	7
Rumus 2.2. Elemen matriks rotasi dalam kolinearitas .....	7
Rumus 2.3. Mencari nilai <i>parallax</i> .....	11
Rumus 2.4. Bentuk sederhana interpolasi IDW .....	17
Rumus 2.5. Fungsi berat.....	18
Rumus 2.6. Jarak terdispersi ke titik interpolasi IDW.....	18
Rumus 2.7. Bentuk sederhana <i>Kriging</i> .....	19
Rumus 2.8. Bentuk umum <i>Ordinary Kriging</i> .....	19
Rumus 2.9. Varian dalam operasi <i>Ordinary Kriging</i> .....	20
Rumus 2.10 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE) .....	21

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode TIN
- Lampiran 2. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode IDW
- Lampiran 3. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode *Kriging*
- Lampiran 4. Peta DEM TerraSAR-X sebagian Wilayah Penelitian
- Lampiran 5. Koordinat titik sampel perhitungan RMSE
- Lampiran 6. Perhitungan selisih elevasi untuk RMSE
- Lampiran 7. CD hasil penelitian

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

*Digital Elevation Model* (DEM) adalah model digital yang memberikan informasi bentuk permukaan bumi (topografi) dalam bentuk data raster, vektor atau bentuk data lainnya (Trisakti, 2010). DEM memuat informasi ketinggian dan kemiringan yang mempermudah interpretasi (Setianto dan Triandini, 2013) sehingga dapat digunakan dalam berbagai aspek kehidupan. Dalam bidang kebencanaan DEM dapat digunakan untuk membuat peta rawan bencana banjir atau tanah longsor. Dalam bidang manajemen sumberdaya DEM dapat digunakan untuk mendapatkan lokasi penambangan. Dan masih banyak kegunaan lainnya dari DEM.

Salah satu sumber data untuk pembentukan DEM adalah foto udara. Foto udara yang dapat digunakan merupakan foto udara *stereo* atau foto udara yang bertampalan kanan dan kiri. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan tidak hanya data X atau Y namun juga Z yang merepresentasikan ketinggian. Foto udara yang dipakai merupakan foto udara skala besar yaitu 1:10.000. Dalam penelitian ini sumber data yang dipakai merupakan dari foto udara skala besar karena representasi permukaan akan tampak lebih jelas dibandingkan dengan foto udara skala menengah maupun dari citra. Foto udara dengan skala kecil sangat bermanfaat terutama untuk manajemen tata ruang sehingga dengan mengolah informasi DEM dari foto udara skala ini dapat memberikan informasi yang lebih detail mengenai relief permukaan bumi yang dipetakan.

DEM dari foto udara salah satunya dapat diolah dari titik dan garis ketinggian yang diolah menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution*. Titik dan garis ini diperoleh dari persebaran *mass point*, *breaklines*, unsur hidrografi, serta transportasi dari suatu data foto udara *stereo*. Titik dan garis



ketinggian inilah yang kemudian disatukan untuk membuat DEM dengan beberapa metode yang ditentukan. Tahapan yang digunakan dalam pembuatan unsur-unsur pembentuk ketinggian adalah *Stereoplotting*. *Stereoplotting* adalah ekstraksi data dari sumber data berupa data radar menjadi data vektor yang dilakukan dengan cara digitasi 3 dimensi secara stereoskopis (BIG, 2015). Melalui tahapan ini akan didapati informasi mengenai posisi planimetris serta ketinggiannya sesuai dengan yang ada di lapangan. *Plotting* pada foto udara skala besar juga akan memberikan informasi yang lebih detail data yang ada di lapangan.

Dari unsur pembentuk ketinggian tersebut selanjutnya dapat dibuat DEM dari wilayah yang dipetakan. Pembuatan DEM ini dapat melalui beberapa metode yaitu TIN, IDW, dan *Kriging*. Metode-metode tersebut dipilih karena telah banyak digunakan pada berbagai penelitian yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya. TIN hampir sama dengan grid yang merupakan data digital untuk merepresentasikan suatu permukaan, namun TIN merepresentasikan permukaan sebagai suatu kesatuan yang berlanjut tanpa ada segitiga yang saling menampal (USGS, 2010). IDW atau *Inverse Distance Weighted* adalah suatu metode yang mensyaratkan kondisi nilai estimasi sebuah titik dipengaruhi oleh titik terdekat yang diketahui dibandingkan titik yang semakin jauh (Chang, 2008). Sementara metode *Kriging* mengasumsikan bahwa jarak atau arah antara titik sampel merefleksikan korelasi spasial yang dapat digunakan untuk menjelaskan variasi pada permukaan yang mana hal ini sesuai dengan jumlah spesifik titik-titik maupun keseluruhan titik dengan radius tertentu untuk menentukan hasil nilai untuk tiap-tiap lokasi (Childs, 2004).

Penggunaan data foto udara pada pembuatan DEM ini didasari oleh sumber peta rupabumi (peta RBI) skala besar yang dibuat oleh Badan Informasi Geospasial yang juga bersumber pada data foto udara, serta penelitian yang telah

ada sebelumnya digunakan data dari citra satelit stereo sehingga perlu adanya penelitian bagaimana ekstraksi DEM yang didapat dari data foto udara yang juga berformat stereo.

### 1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah :

- 1) Bagaimana perbandingan antara DEM yang dibuat dari metode TIN, IDW, dan *Kriging* berdasarkan data foto udara yang dipakai.
- 2) Bagaimana ketelitian DEM dari foto udara menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging* dibandingkan dengan DEM TerraSAR-X

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah :

- 1) Penelitian dilakukan dengan menggunakan data foto udara kanan dan kiri sehingga menimbulkan efek *stereo* dari Provinsi Lampung.
- 2) Digunakan data foto udara dari satu kecamatan di Provinsi Lampung.
- 3) Penentuan titik-titik tinggi digunakan *mass point* dan *breaklines* dengan *Stereoplotting* menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution*.
- 4) DEM dibuat dari 3 metode yaitu ditinjau dari TIN, IDW, dan *Kriging* menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*.

### 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah :

- 1) Membuat DEM menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging*.
- 2) Menampilkan perbedaan hasil pembuatan DEM menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging*

- 3) Menganalisa perbandingan ketelitian DEM foto udara yang dibentuk dengan ketiga metode yang dipakai dengan DEM dari TerraSAR-X

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah :

- 1) Dapat mengetahui perbandingan DEM yang dibuat dari metode TIN, IDW, dan *Kriging*.
- 2) Dapat memberikan rekomendasi terhadap penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pembuatan DEM

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Fotogrametri

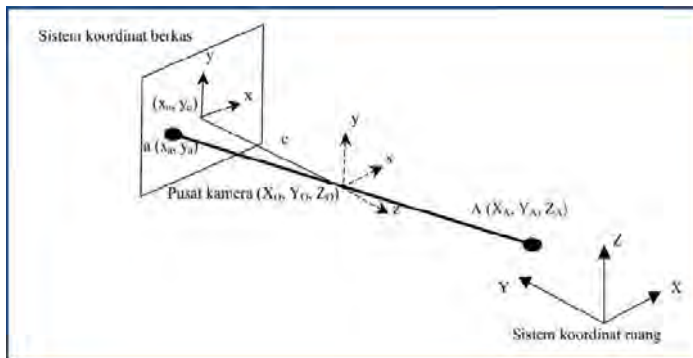
Menurut *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Fotogrametri didefinisikan sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk mendapatkan informasi terkait obyek fisik dan lingkungannya melalui proses perekaman, pengukuran, dan menginterpretasikan citra foto dan pola dari rekaman radiasi energi elektromagnetik dan fenomena lainnya (Wolf and Dewitt, 2000).

Fotogrametri memiliki dua cabang area yaitu *metric photogrammetry* dan *interpretative photogrammetry*. *Metric photogrammetry* terdiri atas pembuatan pengukuran yang tepat dari foto dan sumber informasi lainnya untuk menentukan lokasi relatif dari suatu titik secara umum. Hal ini dapat membantu dalam penentuan jarak, sudut, luasan, volume, beda tinggi, dan ukuran serta bentuk suatu obyek. Penerapan yang paling umum pada *metric photogrammetry* adalah persiapan dari peta planimetri dan topografi dari gambar foto, dan hasil dari *digital orthophoto* dari gambar foto yang telah di-*scan* (Wolf and Dewitt, 2000).

Ada dua jenis teknik pengambilan foto yang dilakukan pada fotogrametri, yang pertama adalah terestris dan udara. Pada pemetaan skala besar, teknik yang digunakan yaitu foto udara. Dalam pelaksanaannya dapat digunakan model foto udara vertikal/tegak ataupun *oblique*/miring. Foto tegak diambil dengan sumbu kamera diletakkan di atas bidang setegak mungkin. Jika sumbu kamera diletakkan sempuran tegak saat dilakukan pencahayaan, hasil foto akan memiliki datum yang sama dengan lapangan, serta hasil fotonya akan benar-benar tegak/vertikal. Pada prakteknya, sumbu kamera sangat jarang menjadi tegak dikarenakan kemiringan pada pesawat yang hampir tidak dapat dihindari. Ketika sumbu kamera sedikit mengalami kemiringan, hasil fotonya disebut

sebagai *tilted photograph* (foto miring). Kemiringan yang terjadi biasanya kurang dari  $1^\circ$  dan jarang lebih dari  $3^\circ$ . (Wolf and Dewitt, 2000)

Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri seperti terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.1. Kondisi Kolinear

Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. Pada gambar 2.1.  $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$  merupakan titik pusat kamera,  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $-c$  merupakan koordinat sebuah titik A pada system koordinat berkas, dan  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$  merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolineraritas adalah :

$$\begin{aligned}
 x_a - x_o &= -c \left( \frac{r_{11}(XA-XL) + r_{12}(ZA-ZL) + r_{13}(YA-YL)}{r_{31}(XA-XL) + r_{32}(ZA-ZL) + r_{33}(YA-YL)} \right) \\
 y_a - y_o &= -c \left( \frac{r_{21}(XA-XL) + r_{22}(ZA-ZL) + r_{23}(YA-YL)}{r_{31}(XA-XL) + r_{32}(ZA-ZL) + r_{33}(YA-YL)} \right) \\
 &\dots(2.1)
 \end{aligned}$$

Dimana

$x_a, y_a$	= Koordinat titik A di foto
$x_o, y_o$	= Koordinat titik utama
$X_A, Y_A, Z_A$	= Koordinat titik A di permukaan bumi
$X_L, Y_L, Z_L$	= Koordinat pusat pemotretan
$c$	= Panjang fokus kamera
$r_{ij}$	= Elemen matriks rotasi

Elemen dari matriks rotasi diberikan pada persamaan.

$$R = R_\omega R_\phi R_\kappa = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 r_{11} &= \cos \phi \cos \kappa \\
 r_{12} &= \sin \omega \sin \phi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\
 r_{13} &= -\cos \omega \sin \phi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\
 r_{21} &= -\cos \phi \sin \kappa \\
 r_{22} &= -\sin \omega \sin \phi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\
 r_{23} &= \cos \omega \sin \phi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\
 r_{31} &= \sin \phi \\
 r_{32} &= -\sin \omega \cos \phi \\
 r_{33} &= \cos \omega \cos \phi
 \end{aligned}$$

### 2.1.1 Space Resection

Metode *space resection* atau reseksi ruang dengan kesegarisan adalah metode numerik untuk menyelesaikan enam parameter orientasi luar (*exterior orientation*). Parameter orientasi luar terdiri dari  $X_o, Y_o,$

$Z_0$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ , dan  $\kappa$  merupakan posisi dan orientasi kamera pada saat pemotretan. Posisi dan orientasi kamera diperlukan untuk menentukan posisi dari titik objek relatif dari sistem koordinat kamera.

Untuk menyelesaikan parameter orientasi luar dibutuhkan minimal 6 persamaan. Oleh karena itu dibutuhkan minimal 3 titik kontrol dimana setiap 1 titik kontrol mendapatkan 2 persamaan, sesuai dengan persamaan (2.8).

### 2.1.2 Space Intersection

*Space Intersection* atau interseksi ruang merupakan metode untuk menentukan koordinat medan  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  titik-titik pada daerah tampalan pasangan foto stereo dengan menggunakan persamaan (2.9). Hal ini dilakukan jika posisi kamera dan orientasinya telah diketahui.

Untuk menentukan koordinat titik  $A$  dari dua foto stereo harus diketahui parameter orientasi luar foto 1 ( $X_{01}$ ,  $Y_{01}$ ,  $Z_{01}$ ,  $\omega_1$ ,  $\phi_1$ , dan  $\kappa_1$ ) dan foto 2 ( $X_{02}$ ,  $Y_{02}$ ,  $Z_{02}$ ,  $\omega_2$ ,  $\phi_2$ , dan  $\kappa_2$ ) serta titik pengamatan dalam sistem koordinat foto 1 ( $x_{a1}$ ,  $y_{a1}$ ). dan foto 2 ( $x_{a2}$ ,  $y_{a2}$ ).

## 2.2 Stereovision

Pada pengambilan foto udara tegak, salah satu hal yang terjadi adalah adanya *overlapping* atau penampalan antara satu foto dengan foto lainnya. Sepasang foto yang bertampalan disebut sebagai *stereopair*. Biasanya penampalan yang terjadi sekitar 55% - 65% dari luasan area yang terdapat di foto. *Stereopair* ini kemudian yang digunakan pada digitasi wilayah yang akan dipetakan untuk dibuat data vektornya. Untuk melihat *stereopair* agar terlihat sebagai 3D diperlukan alat berupa stereoskop. (Wolf and Dewitt, 2000).

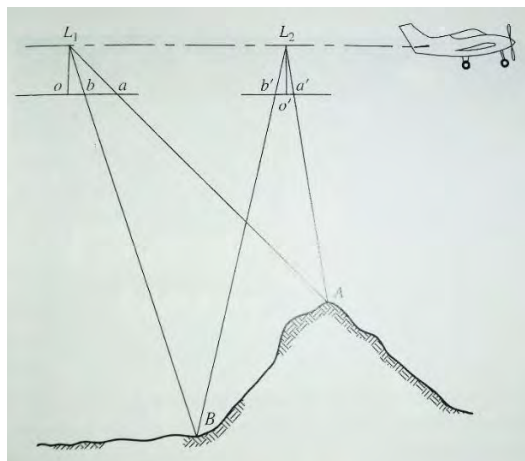
Pelaksanaan digitasi menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* diperlukan beberapa perangkat agar gambar

di komputer terlihat tiga dimensi. Alat yang digunakan adalah *stereoplotter*. *Stereoplotter* dilengkapi dengan alat tambahan yaitu kacamata 3D yang memungkinkan gambar foto yang terlihat di layar komputer memiliki elevasi yang berbeda.

*Stereoplotter* merupakan alat yang digunakan untuk melakukan *Stereoplotting*. *Stereoplotting* adalah ekstraksi data dari sumber data berupa data radar menjadi data vektor yang dilakukan dengan cara digitasi 3 dimensi secara stereoskopis. (BIG, 2015). Input data yang dibutuhkan untuk melaksanakan *Stereoplotting* merupakan sepasang data foto udara yang saling bertampalan. Tahapan *Stereoplotting* dilaksanakan melalui digitasi langsung pada *workstation* secara 3D sehingga telah diketahui data posisi maupun tingginya. (BIG, 2015)

### 2.3 Parallax

*Parallax* merupakan perpindahan semu posisi suatu obyek dari bingkai referensinya dikarenakan pergeseran posisi pengamatan (Wolf dan Dewitt, 2000).



Gambar 2.2. Paralaks stereoskopik dari foto udara tegak  
(Sumber : Wolf dan DeWitt, 2000)



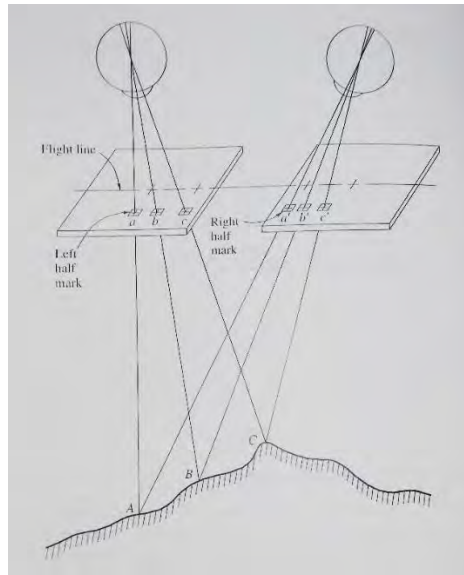
Menurut Wolf dan DeWitt dalam bukunya *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*, pada gambar di atas titik A dan B terlihat pada pertampalan foto udara tegak yang diambil dari *station* L1 dan L2. Titik A dan B terlihat sebagai a dan b pada foto kiri. Pergerakan ke depan dari pesawat menyebabkan gambarnya berpola lateral sesuai dengan jalur terbangnya sehingga pada foto lain, foto sebelah kanan, terlihat sebagai a' dan b'. Karena titik A lebih tinggi posisinya, lebih dekat dengan kamera, daripada titik B, pergerakan titik a lebih besar daripada titik b sepanjang panjang fokalnya (*focal length*), dengan kata lain *parallax* titik A lebih besar daripada B. Hal ini menunjukkan dua aspek penting pada *stereoscopic parallax* : (1) *parallax* dari titik manapun berhubungan secara langsung pada ketinggian titik itu sendiri, dan (2) *parallax* memiliki nilai semakin besar dengan bertambah tingginya posisi titik tersebut.

Untuk mencari besarnya *parallax* suatu titik dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$P_a = X_a - X'_a \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada persamaan tersebut  $P_a$  merupakan *stereoscopic parallax* dari titik A,  $X_a$  adalah koordinat foto yang sudah diukur dari gambar sebelah kiri, sedangkan  $X'_a$  adalah koordinat foto yang sudah diukur dari gambar sebelah kanan. Koordinat foto tersebut diukur sesuai prinsip sistem sumbu jalur terbang.

*Parallax* dari suatu titik dapat diukur dengan melihat secara stereoskopik dengan keuntungan kecepatan dan ketelitian. Pengukuran stereoskopik dari suatu paralaks menjadi suatu dasar dari *floating mark* (titik apung). Ketika *Stereomodel* dilihat melalui stereoskop, dua tanda kecil yang identik terlihat disebut dengan *half mark*, terletak di atas foto, satu di foto sebelah kanan dan satu di foto sebelah kiri. Seperti pada gambar di bawah :



Gambar 2.3. Prinsip titik apung (*floating mark*)  
(Sumber : Wolf dan DeWitt, 2000)

Titik kiri dilihat dengan mata sebelah kiri dan titik kanan dilihat dengan mata sebelah kanan. *Half mark* dapat bergeser tidak pada posisinya sampai bergabung menjadi satu sama lain menjadi satu titik yang terlihat pada *Stereomodel* dan terletak pada suatu elevasi. Jika *half mark* digeser menjadi berdekatan, *parallax* dari *half marks* bertambah dan titik yang telah menyatu akan lebih terlihat naik, sebaliknya jika *half mark* tersebut saling dijauhkan, maka *parallax* berkurang dan titik yang menyatu terlihat semakin ke dalam (Wolf dan DeWitt, 2000).

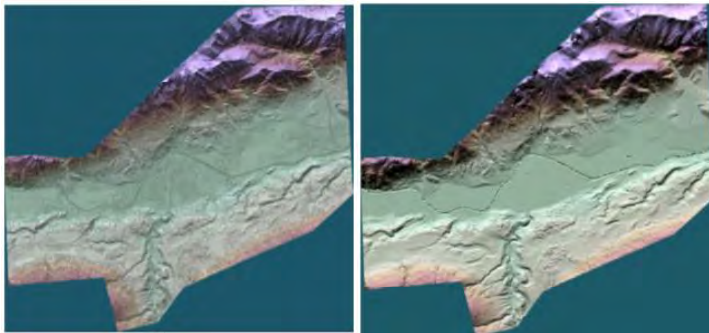
#### 2.4 Digital Elevation Model (DEM)

*Digital Elevation Model* atau DEM adalah model digital yang memberikan informasi bentuk permukaan bumi (topografi) dalam bentuk data raster, vektor atau bentuk data lainnya (Trisakti, 2010). Menurut Tempfli dalam Taufik dan Rosytha, DEM dapat dikatakan sebagai data digital yang menggambarkan permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat. *Digital Elevation Model* (DEM) merupakan salah satu data utama untuk mendukung berbagai kegiatan, seperti pembuatan peta topografi, koreksi geometrik citra, pemetaan daerah rawan bencana (banjir, tsunami, longsor, dan gunung api) dan rencana tata ruang wilayah. Informasi yang didapat dari DEM berupa ketinggian dan koordinat posisi ketinggian tersebut di permukaan bumi atau dengan kata lain DEM berisi informasi X, Y, dan Z dari suatu titik.

Data DEM dapat dihasilkan salah satunya dari foto udara. Foto udara yang digunakan untuk mengekstraksi DEM berupa foto udara *stereo* yaitu foto udara yang bertampalan kanan dan kiri sehingga dapat diaplikasikan prinsip *stereovision* dalam pengerjaannya. Kegunaan dari DEM antara lain :

- a. Teknik sipil : peta 3D sebagai sumber pemetaan dan perencanaan infrastruktur, rute perencanaan, analisis *terrain*.
- b. Ilmu kebumihan : untuk mengamati penurunan muka tanah, pemodelan, analisis serta interpretasi dari morfologi tanah, pemetaan geologi.
- c. Manajemen perencanaan dan sumberdaya : penentuan lokasi penambangan
- d. Survei dan fotogrametri : digunakan untuk pembuatan kontur, memproduksi orthofoto, pemetaan topografi dan lain sebagainya.

Dalam DEM juga dikenal istilah mengenai DSM dan DTM. Keduanya merupakan bagian dari DEM itu sendiri. DSM atau *Digital Surface Model* merepresentasikan kenampakan muka tanah sebagai komponen yang tumpang tindih seperti bangunan dan topografi bumi sebenarnya (Eguchi dkk, 2008). Sementara itu DTM atau *Digital Terrain Model* adalah deskripsi digital dari permukaan bumi yang terdiri tidak hanya dari representasi permukaan tanah, namun juga informasinya seperti kemiringan, aspek, dll (Martinoni dan Bernhard, 1998). DSM dapat diambil dari data LiDAR, foto udara, ataupun citra satelit resolusi tinggi. Sementara DTM dapat diolah melalui data DSM. Berikut adalah perbedaan gambar antara DEM, DSM, dan DTM.



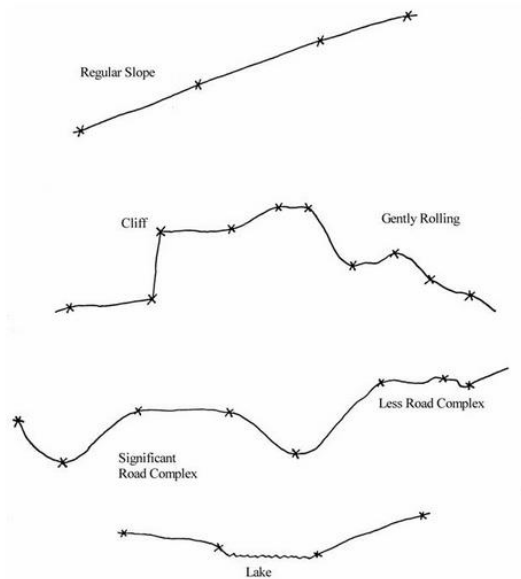
Gambar 2.4. Contoh DSM (kiri) dan DTM (kanan)  
(Sumber : Perko dkk, 2015)

## 2.5 Mass point

*Mass point* adalah titik-titik ketinggian di permukaan bumi (BIG,2015). Titik-titik ketinggian ini berisi informasi koordinat X, Y serta Z nya. Untuk pembuatan *mass point* sendiri dapat dilakukan sesuai Juklak *Stereoplotting* dari BIG dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Titik harus ditempatkan di atas tanah (*bare earth/terrain*).

- b. Titik diambil secara random menyesuaikan bentuk terrain dengan kerapatan 2-20 m.



Gambar 2.5. Model sebaran *mass point*  
(Sumber : Badan Informasi Geospasial, 2015)

- c. Pengambilan data secara acak adalah pengambilan data ketinggian berdasarkan pola relief topografi
- d. *Mass point* tidak boleh terlalu dekat/berimpit dengan sungai atau *breakline* karena akan merusak kontur.
- e. Plotting *mass point* harus memperhatikan elevasi unsur sungai dan *breakline* disekitarnya. Elevasi *mass point* harus lebih rendah daripada elevasi *breakline* dan lebih tinggi daripada elevasi *plotting* unsur sungai.
- f. Pada area perairan tidak boleh ada *mass point*.
- g. Nilai ketinggian pada kolom elevasi harus sama dengan nilai Z.

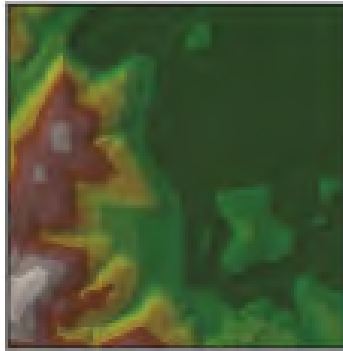
- h. Nilai ketinggian tidak sama dengan nol atau bernilai lebih kecil dari nol kecuali daerah cekungan/tambang yang dapat memiliki ketinggian *minus*.

## 2.6 Metode Pembuatan DEM

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan DEM menggunakan data hipsografi dari foto udara yang telah diolah menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution* sehingga didapati titik-titik sebaran maupungaris yang merepresentasikan ketinggian dalam koordinat X, Y dan Z. Beberapa metode tersebut adalah :

### 2.6.1 TIN (*Triangulated Irregular Network*)

TIN merupakan data digital untuk merepresentasikan suatu permukaan, namun TIN merepresentasikan permukaan sebagai suatu kesatuan yang berlanjut tanpa ada segitiga yang saling menampal (USGS, 2010). Pada *Digital Terrain Model*, *Triangulated Irregular Network* (TIN) adalah representasi dari permukaan yang diambil dari komponen titik sampel dan *breaklines* (Bhargava, 2013). TIN dibuat dari satu set *mass point* yang diperoleh dari nilai ketinggiannya. TIN dapat dibuat menggunakan Triangulasi Delaunay, sebuah proses berulang untuk menghubungkan suatu titik dengan dua titik lain yang berdekatan untuk membentuk suatu segitiga yang diusahakan memiliki sudut yang besarnya hampir sama (Watson dan Philip 1984; Tsai 1993 dalam Chang 2008).



Gambar 2.6. Contoh hasil penggunaan metode TIN  
(Sumber : Childs, 2004)

Menurut Bhargava ada dua fase prinsip untuk membuat TIN, yaitu :

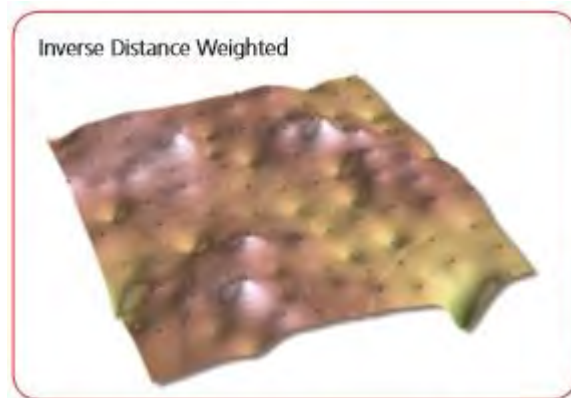
- 1) Pemilihan data (*mass points*) dan koneksinya dengan *triangular facets*
- 2) Triangulasi otomatis dengan seleksi titik manual adalah teknik lain yang telah digunakan.

TIN merupakan suatu model data yang didesain untuk pemetaan dan analisa permukaan tanah, hal ini merupakan alternatif dalam pembentukan DEM dan garis kontur untuk merepresentasikan permukaan tanah tersebut (Chang, 2008).

#### 2.6.2 IDW (*Inverse Distance Weighted*)

IDW atau *Inverse Distance Weighted* adalah suatu metode yang mensyaratkan kondisi nilai estimasi sebuah titik dipengaruhi oleh titik terdekat yang diketahui dibandingkan titik yang semakin jauh (Chang, 2008). Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbuatlah peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah (*Gamma Design Software*, 2005

dalam Pramono, 2008). Metode IDW merupakan salah satu metode interpolasi spasial yang mengestimasi nilai sel dengan menitikberatkan pada nilai data geometrik terdekat dari tiap-tiap sel yang diproses (Nusret dan Dug, 2012). Metode IDW merupakan metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot, jarak yang dimaksud di sini adalah jarak datar dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi sehingga semakin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi maka semakin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya (Hadi, 2013).



Gambar 2.7. Contoh hasil penggunaan metode IDW  
(Sumber : Childs, 2004)

Bentuk paling sederhana dari interpolasi IDW adalah metode Shepard (Shepard, 1968, dalam Gumus dan Sen, 2013) dengan rumus sebagai berikut :

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Di mana  $n$  merupakan jumlah titik yang didistribusikan dalam sebuah data,  $f_i$  adalah nilai fungsi pada titik



terdistribusi dan  $w_i$  adalah fungsi bobot yang ada pada tiap titik. Pengaruh dari titik yang diketahui berhubungan dengan jarak ke lokasi yang tidak diketahui untuk diestimasi. Shepard (1968) menggunakan fungsi berat sebagai berikut :

$$w_i = d_i^{-p} / \sum_{j=0}^n d_j^{-p} \dots\dots\dots(2.5)$$

Di mana  $p$  merupakan variable nomor riil positif yang disebut parameter kekuatan (biasanya digunakan  $p = 2$ ),  $d_j$  adalah jarak antara titik terdispersi ke titik interpolasi :

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$(x, y)$  adalah koordinat titik interpolasi sedangkan  $(x_i, y_i)$  adalah koordinat dari masing-masing titik terdispersi. Fungsi bobot dinormalisasi sebagai jumlah dari bobot unit (Azpurua dan Ramos, 2010 dalam Gumus dan Sen, 2013).

### 2.6.3 Kriging

*Kriging* mengasumsikan bahwa jarak atau arah antara titik sampel merefleksikan korelasi spasial yang dapat digunakan untuk menjelaskan variasi pada permukaan yang mana hal ini sesuai dengan jumlah spesifik titik-titik maupun keseluruhan titik dengan radius tertentu untuk menentukan hasil nilai untuk tiap-tiap lokasi (Childs, 2004). *Kriging* merupakan teknik stokastik yang menggunakan kombinasi linier dari bobot pada titik yang diketahui untuk mengestimasi nilai pada titik yang belum diketahui nilainya (Collins, 1995 dalam Sterling, 2003). *Kriging* membuat dugaan-dugaan dan estimasi menggunakan semivariogram, ukuran korelasi spasial antara dua titik (Sterling, 2003).

Metode *Kriging* ditemukan oleh bantuan seorang insinyur pertambangan yang bernama D.G. Krige. Krige menggunakan pengamatan empiris dari bobot untuk mengestimasi kandungan bijih dari pertambangan batu dengan membandingkan sampel nilai yang diketahui dari eksplorasi pertambangan awal (Cressie, 1993, Collins, 1995, Lam, 1983, Sterling 2003). Kemudian, G.Matheron, seorang Prancis, menyatukan metodologi Krige dalam suatu teknik yang dijulukinya sebagai “*Kriging*”, teori dari perilaku variabel distribusi spasial (Collins, 1995 dalam Sterling, 2003).

*Kriging* adalah metode geostatistik yang mengambil kedua faktor yaitu jarak dan derajat variasi antara titik yang diketahui (Chaplot, 2006 dalam Gumus dan Sen, 2013).

$$\sum_{i=1}^{N(x_o)} w_i(x_o) = 1 \dots (2.7)$$

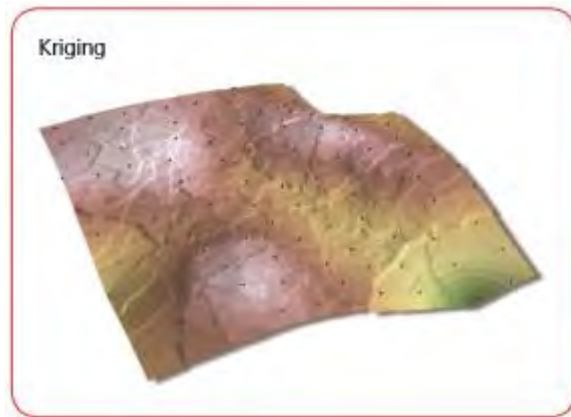
Penyederhanaan dari estimasi error yang ada pada sistem memberikan persamaan yang disebut dengan *Ordinary Kriging*. Secara lebih umum dapat ditulis :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{N(x_o)} w_j(x_o) \gamma_{ij} + \mu &= \gamma_{io} \\ \sum_{j=1}^{N(x_o)} w_j(x_o) &= 1 \\ \forall i &= 1, \dots, N(x_o) \dots (2.8) \end{aligned}$$

$\mu$  adalah *Langrarian multiplier* yang ada karena penyederhanaan variasi dengan konstrain.  $\gamma$  adalah semi-variogram. Catatan bahwa  $\gamma_{ij}$  dapat dihitung dari

masing-masing pasangan data  $Z(x_i)$  dan  $Z(x_j)$  ( $i, j = 1, \dots, N(x_o)$ ) sejumlah data di sekitar  $(x_o)$  yang mana  $\gamma_{io}$  mendekati model variogram teoritis  $\lambda(h)$  dengan vektor terpisah  $h = x_i - x_o$  sebagai suatu argumen. Varian pada metode *ordinary Kriging* (Ratle, 2008 dalam Gumus dan Sen, 2013) :

$$\sigma_{ok}(x_o) = \mu + \sum_{i=1}^{N(x_o)} w_i(x_o) \gamma_{io} \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2.8. Contoh hasil penggunaan metode *Kriging*  
(Sumber : Childs, 2004)

Ketiga metode tersebut dapat diproses menggunakan ekstensi *Spatial Analyst* pada perangkat lunak ArcGIS.

## 2.7 RMSE (Root Mean Square Error)

RMSE telah banyak digunakan sebagai standar matrik statistic untuk mengukur tampilan model dalam studi penelitian meteorologi, kualitas air, dan iklim (Chai dan Draxler, 2014). RMSE adalah suatu metode kuantitatif yang dapat menentukan kualitas dari transformasi geometrik

(Chang, 2008). Rumus yang digunakan dalam RMSE (Li dan Heap, 2008) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

n : jumlah sampel yang digunakan

o : nilai yang diamati

p : nilai estimasi

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengambilan unsur-unsur ketinggian menggunakan *Stereoplotting* pernah dilakukan oleh Fedhi Astuty Hartoyo (2014) mengenai “Perbandingan Tingkat Akurasi *Digital Surface Model* (DSM) Hasil Ekstraksi Citra Stereo CARTOSAT-1 Dengan Citra Stereo ALOS PRISM. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan tingkat akurasi DEM yang dihasilkan dari proses *Stereoplotting* foto udara format medium melalui tahapan *Relative Orientation*. Hasil dari DSM ini nantinya dibandingkan tingkat akurasinya apakah sesuai untuk pembuatan peta skala 1:25.000. Dari data yang telah diolah disimpulkan bahwa DSM hasil ekstraksi dari citra stereo Cartosat-1 memiliki nilai akurasi horizontal sebesar 80,2318 meter dan akurasi vertikal sebesar 1,6052 meter pada tingkat kepercayaan 90%. Pada tingkat kepercayaan 90%, DSM hasil ekstraksi dari citra stereo ALOS PRISM memiliki nilai akurasi horizontal sebesar sebesar 31,7820 meter dan akurasi vertikalnya 1,5590 meter. Sehingga kedua DSM hasil ekstraksi citra stereo pada penelitian ini tidak memenuhi syarat ketelitian untuk pembuatan peta skala 1:25.000.

Penelitian mengenai pembuatan DEM menggunakan metode interpolasi yang berbeda pernah dilakukan oleh Erdogan (2009). Pada penelitian tersebut digunakan empat metode interpolasi untuk pembuatan DEM yaitu *Ordinary*

*Kriging* (OK), *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Multiquadratic Radial Basis Function* (MQ), dan *Thin Plate Spin* (TPS). Keempat metode ini diaplikasikan untuk wilayah yang relatif sempit dan dibuat menggunakan interval yang berbeda untuk tiap metodenya. Setelah itu dihitung akurasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) sehingga ditemukan metode TPS dan MQ memiliki error yang cukup stabil.

Artanto (2015) juga melakukan penelitian mengenai perbandingan penggunaan metode interpolasi untuk pembuatan DEM pada sebagian wilayah Jawa Timur menggunakan data foto udara stereo 1:25.000. Pengujian akurasi DEM dilakukan dengan metode interpolasi dengan relief wilayah. Hasilnya menunjukkan bahwa interpolasi *ordinary Kriging* menjadi metode interpolasi dengan nilai akurasi terbaik pada wilayah relief datar sementara metode interpolasi *spline* khususnya tipe *regulized* memiliki nilai akurasi terbaik pada relief berombak, berombak hingga bergelombang, berbukit hingga perbukitan, perbukitan hingga bergunung, serta bergunung.

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Lokasi Penelitian**

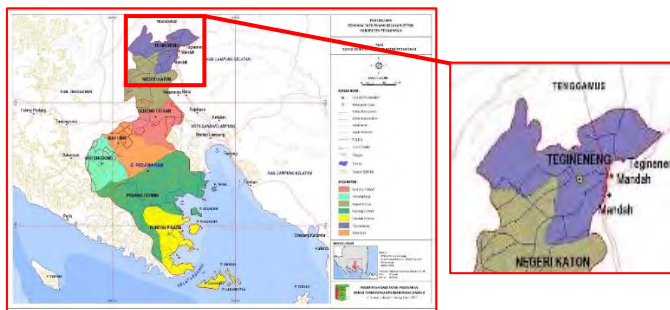
Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagian wilayah Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung dengan koordinat pada model foto yang digunakan adalah  $5^{\circ}13'11.01''$  LS dan  $105^{\circ}8'11.68''$  BT hingga  $5^{\circ}13'12.85''$  LS dan  $105^{\circ}9'29.61''$  BT. Batas-batas wilayahnya yaitu :

Utara : Kabupaten Lampung Tengah

Timur : Kabupaten Lampung Selatan

Selatan : Kecamatan Negeri Katon, Kabupaten Pesawaran

Barat : Kabupaten Lampung Tengah



Gambar 3.1. Lokasi penelitian, Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung  
(Sumber : Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Pesawaran)

### 3.2 Data dan Peralatan

#### 3.1.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) berupa :

- 1) Peta foto udara Kecamatan Tegineneng Kabupaten Lampung skala 1:10.000 (format \*.SMTI)
- 2) *Exterior Orientation*
- 3) *Interior Orientation* (Format \*.Cam)
- 4) Data pengukuran GCP (Format \*.CON)
- 5) *Digital Elevation Model* citra TerraSAR-X

#### 3.1.2 Peralatan

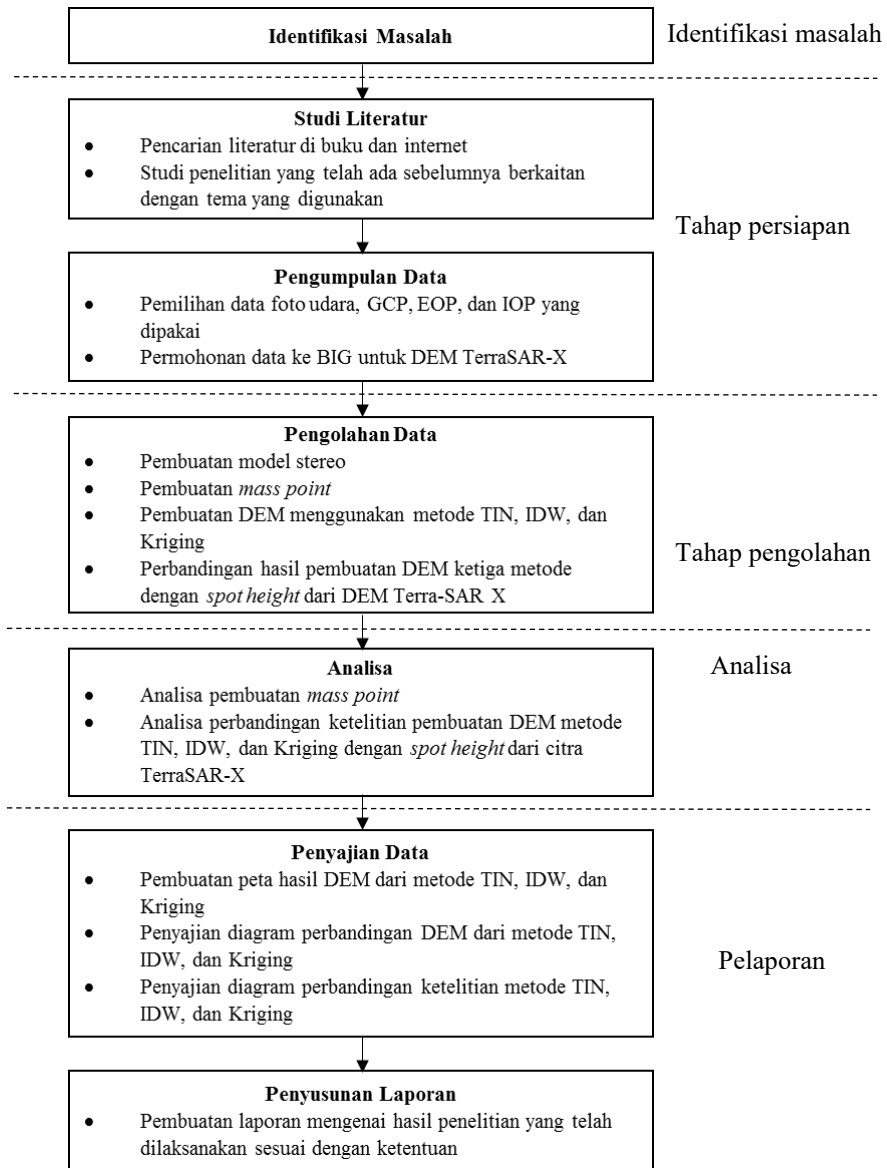
Peralatan yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini antara lain :

- 1) Komputer *workstation* dengan spesifikasi minimal setara dengan i7, 64bit, 8GB RAM, 2TB *internal harddisk* dengan monitor 120Hz
- 2) Software *Summit Evolution*
- 3) Software *ArcGIS*
- 4) Software *AutoCAD Map 3D*
- 5) Kacamata 3D
- 6) *Mouse 3D*

### 3.3 Metodologi Penelitian

#### 3.3.1 Tahap Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian



Keterangan :

1) Identifikasi Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana perbedaan antara DEM yang dibuat dari metode TIN, IDW, dan *Kriging* berdasarkan data foto udara yang dipakai.

2) Tahap Persiapan

a. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi yang dibutuhkan dalam penelitian yang berguna untuk menunjang pengetahuan peneliti mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini. Pencarian literatur didapatkan dari buku serta internet terkait dengan tema yang diambil serta bersumber dari penelitian yang ada sebelumnya terkait juga dengan tema yang diangkat dalam penelitian.

b. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data yang berasal dari Badan Informasi Geospasial yang diambil dalam kurun waktu berbeda. Data foto udara *stereo* atau foto udara yang saling *overlay*, GCP, EOP, dan IOP diambil dari hibah yang diberikan BIG untuk Teknik Geomatika ITS.

3) Tahap Pengolahan

Pengolahan dilakukan pengolahan data foto udara *stereo* dengan perangkat lunak yang telah ditentukan. Pengolahan data ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi ketinggian pada foto udara yang nantinya dijadikan bahan untuk membuat DEM. Hasil yang diharapkan dalam pengolahan data ini berupa model *stereo*, *mass*

*point* yang didigitasi secara 3D, hasil pembuatan DEM dari metode TIN, IDW, dan *Kriging*, serta perbandingan dari hasil ketelitian DEM yang telah dibuat dari ketiga metode tersebut dengan dasar yang dipakai yaitu data dari citra DEM TerraSAR-X dengan ketelitian hingga 1 m.

4) Analisa

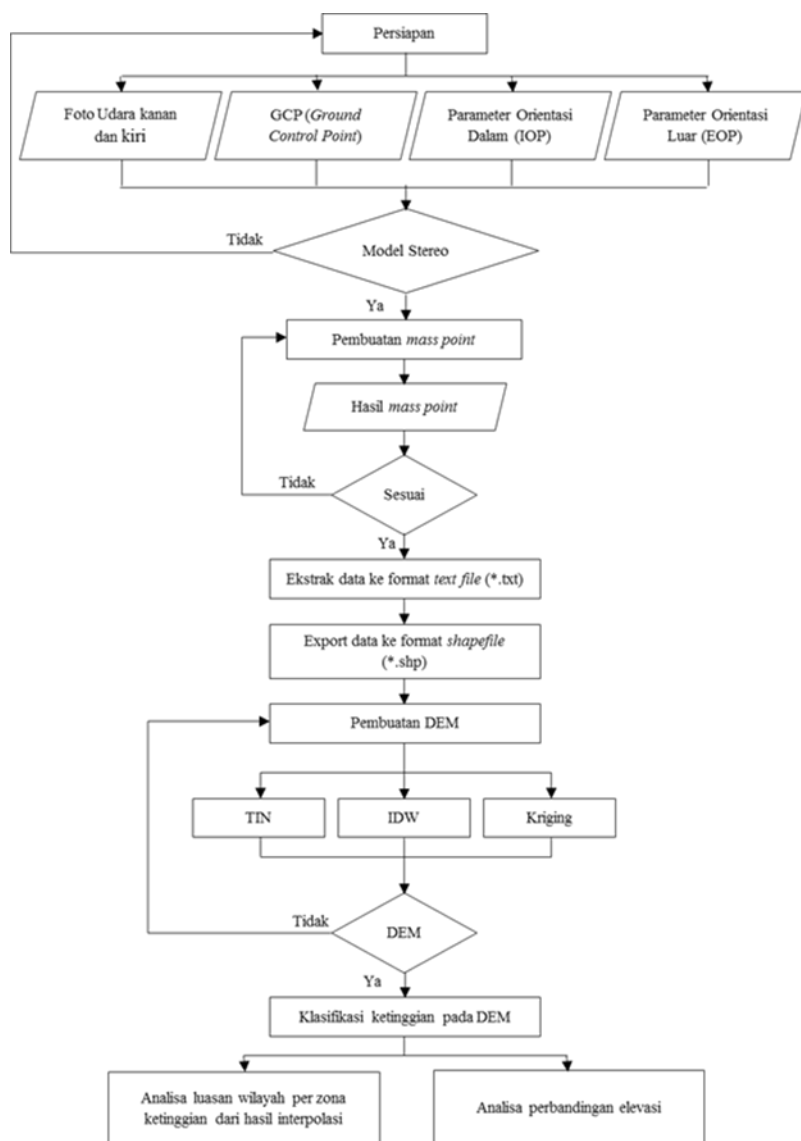
Pada tahap ini dilakukan analisa dari hasil pengolahan data, yang nantinya digunakan untuk menyusun laporan. Analisa yang disajikan terkait dengan hasil pembuatan model stereo, *mass point*, pembuatan DEM, serta perbedaan dan perbandingan dari ketelitian DEM menggunakan ketiga metode yang telah disebutkan.

5) Pelaporan

Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari penelitian Tugas Akhir agar hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan diketahui oleh orang lain. Pelaporan dilakukan dengan menyajikan hasil peta pembuatan DEM serta diagram perbandingan hasil antara metode TIN, IDW, dan *Kriging*.

### 3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3. Diagram alir pengolahan data

Penjelasan dari diagram alir pengolahan data di atas adalah sebagai berikut :

- 1) Setelah dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk penelitian maka selanjutnya adalah membuat model *stereo* menggunakan perangkat lunak *Summit Evolution*. Untuk membuat model *stereo* dimasukkan parameter orientasi luar berupa X, Y, Z, Phi, Kappa, dan Omega sehingga model *stereo* memiliki orientasi.
- 2) Setelah terbentuk model *stereo*, pembuatan *mass point* dimulai. Pada proses ini diperlukan mouse dan kacamata 3D yang terintegrasi dengan komputer *workstation* yang digunakan untuk membuat digitasi yang memiliki informasi baik X, Y, maupun Z. *Mass point* berguna untuk pembuatan relief permukaan bumi di wilayah yang ditentukan.
- 3) Jika pembuatan keseluruhan *mass point* selesai dan sesuai, maka data yang telah ada dikonversi dalam bentuk *text file* sehingga memudahkan untuk diekspor dalam bentuk *shape file* nantinya agar data yang ada kemudian dapat diolah untuk mendapatkan DEM. Parameter kesesuaian *mass point* adalah jika telah sesuai dengan prinsip paralaks yaitu ketika *Half mark* dapat bergeser tidak pada posisinya sampai bergabung menjadi satu sama lain menjadi satu titik yang terlihat pada *Stereomodel* dan terletak pada suatu elevasi. Jika *half mark* digeser menjadi berdekatan, *parallax* dari *half marks* bertambah dan titik yang telah menyatu akan lebih terlihat naik, sebaliknya jika *half mark* tersebut saling dijauhkan, maka *parallax* berkurang dan titik yang menyatu terlihat semakin ke dalam (Wolf dan DeWitt, 2000).

- 4) Selanjutnya adalah pembuatan DEM dengan menggunakan beberapa metode yaitu TIN, IDW, dan *Kriging* yang keseluruhannya menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*.
- 5) Tahap terakhir adalah analisa. Analisa pada penelitian yang dilaksanakan berupa analisa luasan wilayah per zona ketinggian dari ketiga metode yang digunakan serta perbandingan antara hasil ketinggian yang didapatkan dari DEM yang dibuat dari ketiga metode tersebut sehingga dapat diketahui perbedaan elevasi yang terjadi setelah dilakukan interpolasi dan dapat disimpulkan manakah yang sesuai untuk digunakan di lokasi penelitian.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1 Hasil *Stereomodel*

Pembuatan stereo model atau model stereo memungkinkan pengguna untuk melihat foto udara yang akan diolah memiliki tampilan topografi 3D atau timbul dan memiliki ketinggian. Hasil model stereo hanya dapat dilihat menggunakan kacamata 3D. Dalam penelitian ini, untuk membuat model stereo digunakan perangkat lunak *DAT/EM Summit Evolution* yang dikeluarkan oleh Trimble.

Untuk membuat model stereo sendiri langkah pertama yang perlu dilakukan setelah mengumpulkan seluruh data yang digunakan yaitu mulai foto udara yang overlay, GCP, Parameter Orientasi Luar atau EOP dan Parameter Orientasi Dalam atau IOP maka selanjutnya adalah memasukkan data tersebut satu persatu secara berurutan dengan diawali memilih perintah pembuatan *project* baru untuk *Aerial – Frame and Digital Camera* yang disimbolkan dengan



Gambar 4.1. Simbol pembuatan *project* untuk model stereo

Hasil dari pembuatan model stereo nya adalah sebagai berikut,



Gambar 4.2. Salah satu contoh model stereo

Dalam pembuatan model stereo digunakan keseluruhan titik control yang ada serta hampir seluruh foto udara juga. Namun dalam pengerjaan penelitian ini tidak semua foto udara diolah datanya atau dengan kata lain dibuat *mass point* di atasnya. Hanya area tertentu dengan pertimbangan tertentu yang digunakan dalam penelitian. Area ini kemudian diseleksi setelah dibuat model stereonya.

#### 4.1.2 Hasil Pembuatan *Mass point*

Tahapan *Stereoplotting* dilaksanakan secara digital menggunakan perangkat lunak *DAT/EM Summit Evolution*. Hasil dari *Stereoplotting* berupa *mass point* yang memuat informasi koordinat x, y, dan z. Pembuatan *mass point* ini berdasarkan prinsip *floating*

*mark*. Pengukuran stereoskopik dari suatu paralaks menjadi suatu dasar dari *floating mark* (titik apung). *Parallax* merupakan perpindahan semu posisi suatu obyek dari bingkai referensinya dikarenakan pergeseran posisi pengamatan (Wolf dan Dewitt, 2000).

Ketika *Stereomodel* dilihat melalui stereoskop, dua tanda kecil yang identik terlihat disebut dengan *half mark*, terletak di atas foto, satu di foto sebelah kanan dan satu di foto sebelah kiri. Titik kiri dilihat dengan mata sebelah kiri dan titik kanan dilihat dengan mata sebelah kanan. *Half mark* dapat bergeser tidak pada posisinya sampai bergabung menjadi satu sama lain menjadi satu titik yang terlihat pada *Stereomodel* dan terletak pada suatu elevasi. Jika *half mark* digeser menjadi berdekatan, *parallax* dari *half marks* bertambah dan titik yang telah menyatu akan lebih terlihat naik, sebaliknya jika *half mark* tersebut saling dijauhkan, maka *parallax* berkurang dan titik yang menyatu terlihat semakin ke dalam (Wolf dan DeWitt, 2000).

Dengan menggunakan prinsip tersebut, sebuah titik *mass point* diletakkan tepat di atas permukaan tanah (*ground*) untuk memberikan hasil titik yang merepresentasikan koordinat x, y, dan z tepat berada di atas permukaan tanah untuk membantu pembuatan DEM.

Unsur yang ada pada pembuatan *mass point* ini sebenarnya hanyalah titik-titik yang dibuat dengan radius tertentu sesuai dengan perubahan topografi yang ada di foto udara. Pembuatan *mass point* serta unsur yang ikut direpresentasikan di dalamnya dapat dijelaskan dalam tabel 4.1. Pembuatan *mass point* didasari oleh prinsip berikut ini sesuai Juklak *Stereoplotting* dari BIG :



- 1) Titik harus ditempatkan di atas tanah (*bare earth/terrain*).
- 2) Titik diambil secara random menyesuaikan bentuk terrain dengan kerapatan 2-20 m.
- 3) Pengambilan data secara acak adalah pengambilan data ketinggian berdasarkan pola relief topografi
- 4) *Mass point* tidak boleh terlalu dekat/berimpit dengan sungai atau breakline karena akan merusak kontur.
- 5) Ploting *mass point* harus memperhatikan elevasi unsur sungai dan breakline disekitarnya. Elevasi *mass point* harus lebih rendah daripada elevasi breakline dan lebih tinggi daripada elevasi plotting unsur sungai.
- 6) Pada area perairan tidak boleh ada *mass point*.
- 7) Nilai ketinggian pada kolom elevasi harus sama dengan nilai Z.
- 8) Nilai ketinggian tidak sama dengan nol atau bernilai lebih kecil dari nol kecuali daerah cekungan/tambang yang dapat memiliki ketinggian minus.

Karena tidak ada *breaklines* yang dipakai dalam penelitian ini, maka syarat yang memuat unsur pemakaian *breaklines* tidak dipakai.

Tabel 4.1. Deskripsi pembuatan *mass point*

No	Nama Unsur	Deskripsi
1	Permukaan tanah berupa bentang alam seperti sawah, ladang, lahan kosong, dll	Dilakukan pembuatan <i>mass point</i> sesuai sebaran pada umumnya untuk daerah datar dengan radius $\leq 10$ m (karena skala foto yang digunakan yaitu 1 : 10.000 sehingga 1 cm di peta

		mewakili 10 meter di lapangan) dan radius yang lebi rapat untuk topografi yang sedikit landai atau memiliki perubahan elevasi.
2	Sungai	<i>Mass point</i> pada sungai dibuat di tepi-tepi sungai sepanjang jalur sungai tersebut. Hal ini dimaksudkan agar terdapat suatu visualisasi yang berbeda saat nantinya dilakukan pembuatan DEM sehingga wilayah yang dibatasi <i>mass point</i> yang merepresentasikan sungai dapat dikenali dengan baik.
3	Jalan	Untuk pembuatan <i>mass point</i> pada jalan dibuat secara linier mengikuti jalur yang ada pada jalan tersebut sehingga saat dilakukan pengolahan dapat diketahui bahwa titik-titik tersebut adalah titik-titik yang merepresentasikan jalan-jalan yang ada.

Berikut ini adalah hasil pembuatan *mass point* menggunakan perangkat lunak *DAT/EM Summit Evolution*,



Gambar 4.3. Hasil pembuatan *mass point*

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa *mass point* dibuat dari titik-titik yang merepresentasikan suatu ketinggian di permukaan bumi. Informasinya memuat koordinat x, y, dan z sehingga data dari pembuatan *mass point* merupakan hal utama dalam melakukan interpolasi menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

#### 4.1.3 Hasil Pembuatan DEM

*Digital Elevation Model* atau DEM adalah model digital yang memberikan informasi bentuk permukaan bumi (topografi) dalam bentuk data raster, vektor atau bentuk data lainnya (Trisakti, 2010). Hasil dari pembuatan DEM dibagi menjadi 11 kelas ketinggian berdasarkan skala peta yang digunakan yaitu 1:10.000. Kelas ini ditentukan berdasarkan perhitungan untuk mencari interval kontur :

$$\frac{1}{2000} \times \text{bilangan skala}$$

sehingga menghasilkan interval yang digunakan untuk membuat kelas ketinggian. Karena yang ditemukan adalah 10 untuk intervalnya, maka dibuatlah 11 kelas berdasarkan nilai minimal dan nilai maksimal ketinggian hasil interpolasi yang terdapat dalam hasil pembuatan DEM dari metode TIN, IDW, dan *Kriging*. Berikut adalah kelas ketinggian yang digunakan :

Tabel 4.2 *Range* kelas ketinggian

<b><i>Range</i></b>	<b>Kelas</b>
57 - 62	1
62 - 67	2
67 - 72	3
72 - 77	4
77 - 82	5
82 - 87	6
87 - 92	7
92 - 97	8
97 - 102	9
102 - 107	10
107 - 112	11

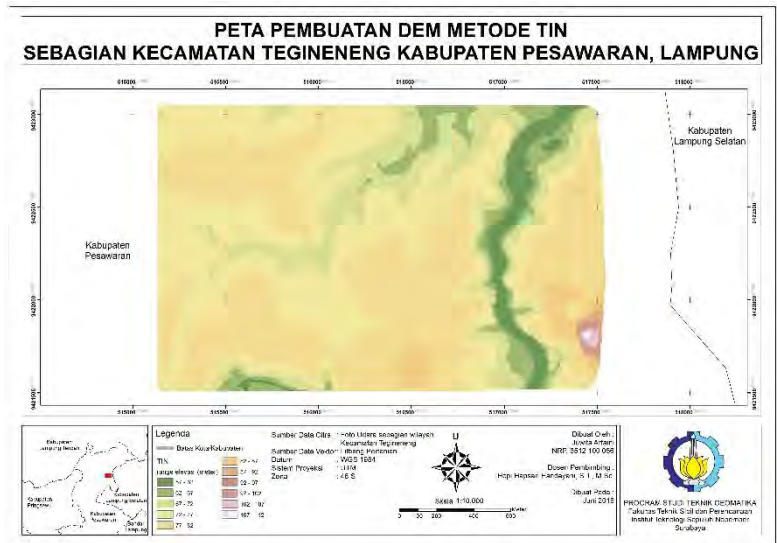
Di bawah ini merupakan hasil dari pemrosesan data dalam bentuk raster sehingga dapat diketahui visualisasi dari elevasi yang ada di lapangan setelah dilakukan interpolasi. Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari metode TIN, Gambar 4.3 hasil dari metode IDW, sedangkan gambar 4.4 hasil dari metode *Kriging*. Hasil pembentukan DEM tersebut dibuat menjadi kelas yang sama seperti pada tabel 4.2

#### 4.1.3.1 Pembuatan DEM Metode TIN

TIN merupakan data digital untuk merepresentasikan suatu permukaan, namun TIN merepresentasikan permukaan sebagai suatu kesatuan yang berlanjut tanpa ada segitiga yang saling menampal (USGS, 2010). Pada *Digital Terrain Model, Triangulated Irregular Network* (TIN) adalah representasi dari permukaan yang diambil dari komponen titik sampel dan *breaklines* (Bhargava, 2013). Menurut Bhargava ada dua fase prinsip untuk membuat TIN, yaitu :

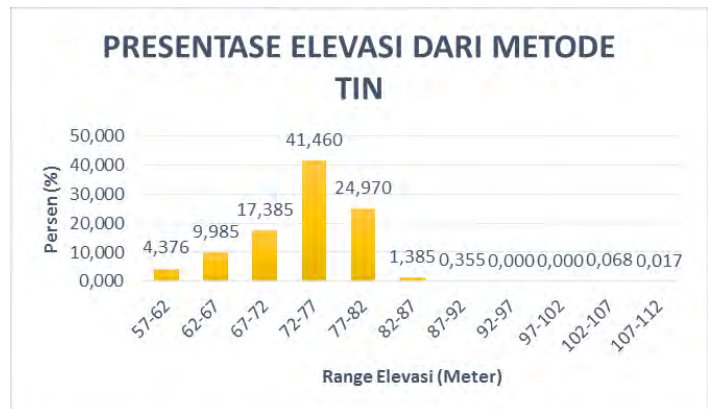
- a. Pemilihan data (*mass points*) dan koneksinya dengan *triangular facets*
- b. Triangulasi otomatis dengan seleksi titik manual adalah teknik lain yang telah digunakan.

Dalam penelitian yang dilakukan, pengambilan data untuk TIN digunakan metode yang kedua yaitu seleksi titik secara manual dengan membuat *mass point* terlebih dahulu menggunakan data foto udara. Berikut ini adalah pembuatan DEM menggunakan metode TIN.



Gambar 4.4. Hasil pembuatan DEM metode TIN

Untuk presentase luasan hasil dari masing-masing *range* ketinggian untuk metode TIN disajikan dalam grafik berikut :

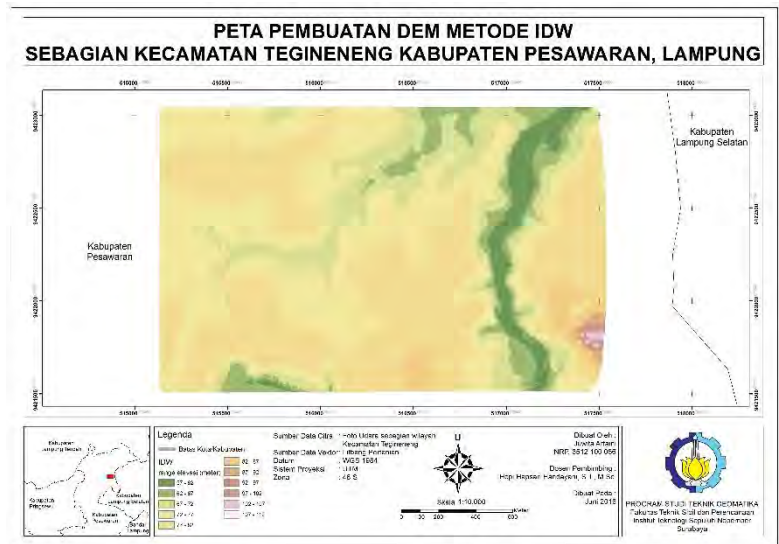


Gambar 4.5. Presentase penyebaran elevasi dari metode TIN

Dari gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa pada pembuatan DEM metode TIN, elevasi dengan presentase terbesar terdapat pada *range* ketinggian 72 – 77 meter, sedangkan terkecil pada *range* ketinggian 107 – 112 meter. Pada *range* ketinggian 92 hingga 102 tidak ditemukan adanya data.

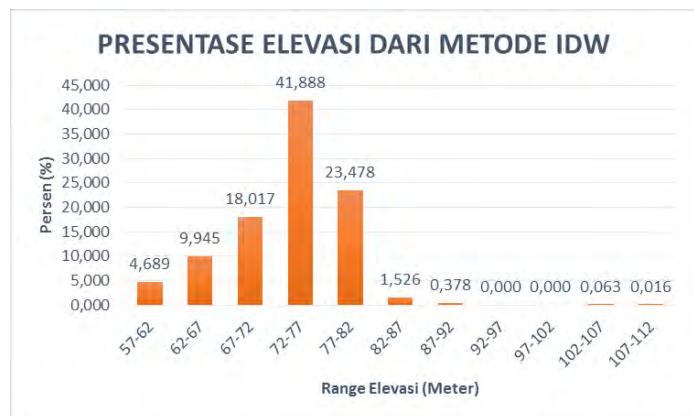
#### 4.1.3.2 Pembuatan DEM Metode IDW

Metode kedua yang digunakan adalah metode IDW atau *Inverse Distance Weighted*. Metode IDW merupakan metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot, jarak yang dimaksud di sini adalah jarak datar dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi sehingga semakin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi maka semakin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya (Hadi, 2013).



Gambar 4.6. Hasil pembuatan DEM metode IDW

Untuk presentase luasan hasil dari masing-masing *range* ketinggian untuk metode IDW disajikan dalam grafik berikut :



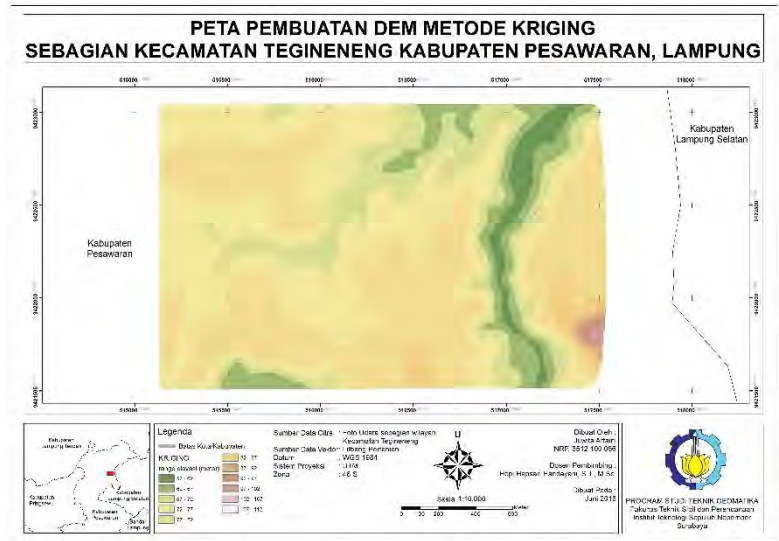


Gambar 4.7. Presentase penyebaran elevasi dari metode IDW

Dari gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa pada pembuatan DEM metode IDW, elevasi dengan presentase terbesar terdapat pada *range* ketinggian 72 – 77 meter, sedangkan terkecil pada *range* ketinggian 107 – 112 meter. Pada *range* ketinggian 92 hingga 102 tidak ditemukan adanya data, sama dengan pembuatan DEM dengan metode TIN

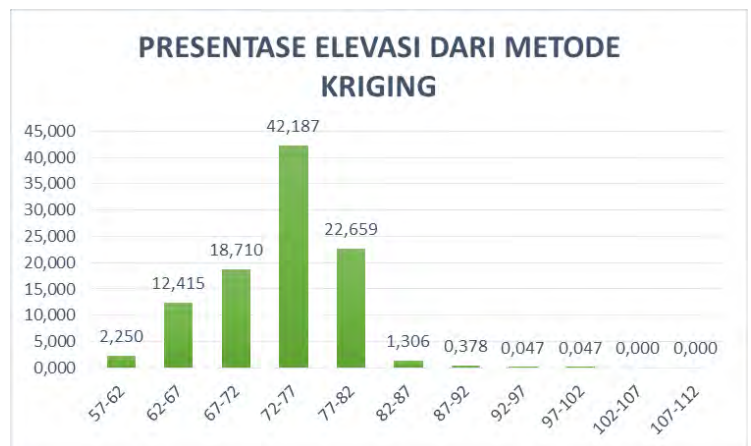
#### 4.1.3.3 Pembuatan DEM Metode *Kriging*

*Kriging* mengasumsikan bahwa jarak atau arah antara titik sampel merefleksikan korelasi spasial yang dapat digunakan untuk menjelaskan variasi pada permukaan yang mana hal ini sesuai dengan jumlah spesifik titik-titik maupun keseluruhan titik dengan radius tertentu untuk menentukan hasil nilai untuk tiap-tiap lokasi (Childs, 2004)



Gambar 4.8. Hasil pembuatan DEM metode *Kriging*

Untuk presentase luasan hasil dari masing-masing *range* ketinggian untuk metode TIN disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.9. Presentase penyebaran elevasi dari metode *Kriging*

Dari gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa pada pembuatan DEM metode *Kriging*, elevasi dengan presentase terbesar terdapat pada *range* ketinggian 72 – 77 meter, sedangkan terkecil pada *range* ketinggian 97 – 102 meter. Pada *range* ketinggian 102 hingga 112 tidak ditemukan adanya data. Hal ini sedikit berbeda dengan hasil pembuatan DEM dari metode TIN dan IDW.

#### 4.1.4 Hasil Perbandingan Ketelitian DEM dengan TerraSAR-X

Menurut *Airbus Defence and Space* (2014), TerraSAR-X merupakan satelit buatan Jerman yang diluncurkan pada tahun 2007. TerraSAR-X memiliki resolusi spasial hingga 6 meter. Pada penelitian ini dianggap bahwa ketelitian dari TerraSAR-X ini sendiri lebih baik dibandingkan dengan DEM yang dihasilkan dari foto udara skala 1:10.000 yaitu 10 meter sehingga nilai elevasi dari pembuatan DEM menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging* dari foto udara masing-masing akan dibandingkan dengan DEM dari TerraSAR-X

Berikutnya adalah membuat perbandingan dari titik-titik elevasi yang dihasilkan dari pembuatan DEM yang bersumber dari *mass point* foto udara dengan elevasi yang dihasilkan dari TerraSAR-X. Hasil dari masing-masing metode yaitu TIN, IDW, dan *Kriging* kemudian dibandingkan dengan elevasi dari TerraSAR-X. Titik-titik sampel ini memiliki koordinat X dan Y yang sama. Setelah ditemukan perbandingannya maka RMSE atau *root mean square error* nya dihitung menggunakan persamaan 2.10


$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}$$

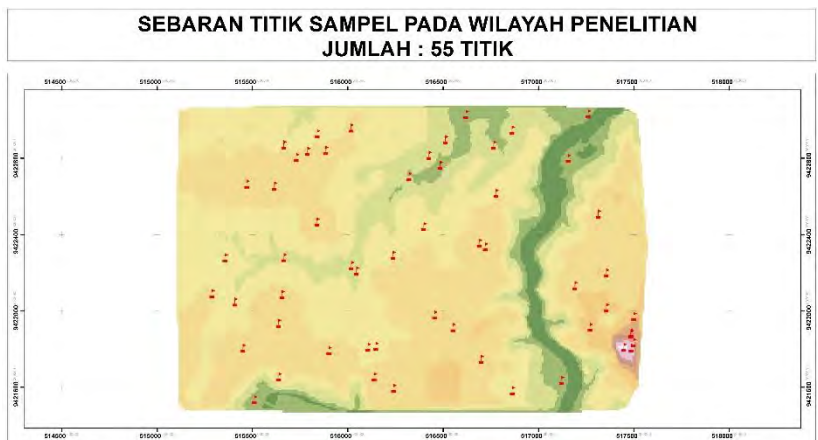
Keterangan :

n : jumlah sampel yang digunakan

o : nilai yang diamati

p : nilai estimasi

Gambar 4.10 menunjukkan sebaran titik sampel yang digunakan dalam penelitian. Simbol  menunjukkan lokasi titik yang digunakan sebagai sampel. Roscoe (1975) dalam Sekaran (2006) memberikan pedoman penentuan jumlah sampel yang salah satunya menyatakan bahwa sebaiknya ukuran sampel di antara 30 sampai 500 elemen. Sehingga pada penelitian ini digunakan 55 sampel untuk menguji RMSE dari masing-masing metode yaitu TIN, IDW, dan *Kriging*. Untuk informasi lebih lanjut mengenai titik sampel yang digunakan dapat dilihat pada tabel di Lampiran 4.



Gambar 4.10. Sebaran titik sampel untuk perhitungan RMSE

Sampel yang diambil dalam penelitian jumlahnya ada 55 titik yang tersebar secara acak pada wilayah penelitian. Di bawah ini merupakan hasil dari RMSE 55 titik yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian. Selisih elevasi masing-masing metode dapat dilihat pada tabel di Lampiran 5.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan RMSE elevasi tiap metode

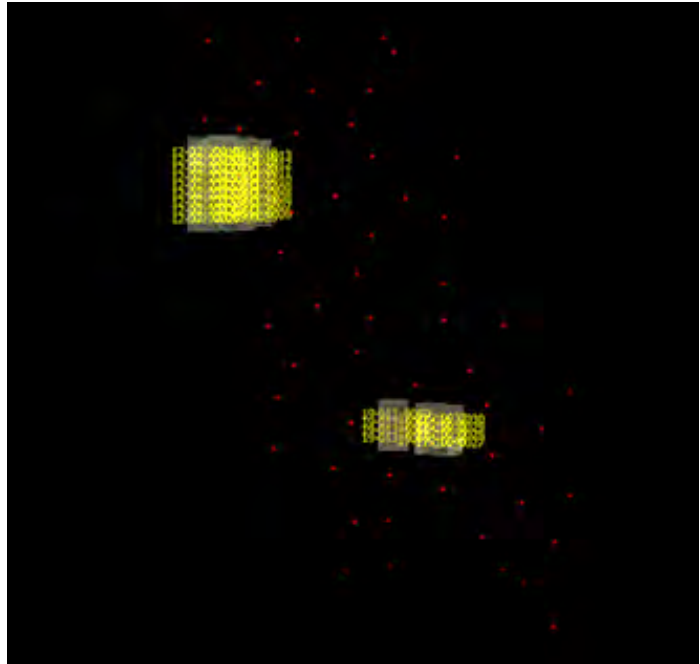
RMSE	TIN	IDW	<i>Kriging</i>
	0,477	0,926	3,453

Metode TIN menunjukkan hasil RMSE yang paling kecil yaitu sebesar 0,477 diikuti oleh metode IDW sebesar 0,926 dan metode *Kriging* 3,453.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisa Pembuatan *Stereo Model*

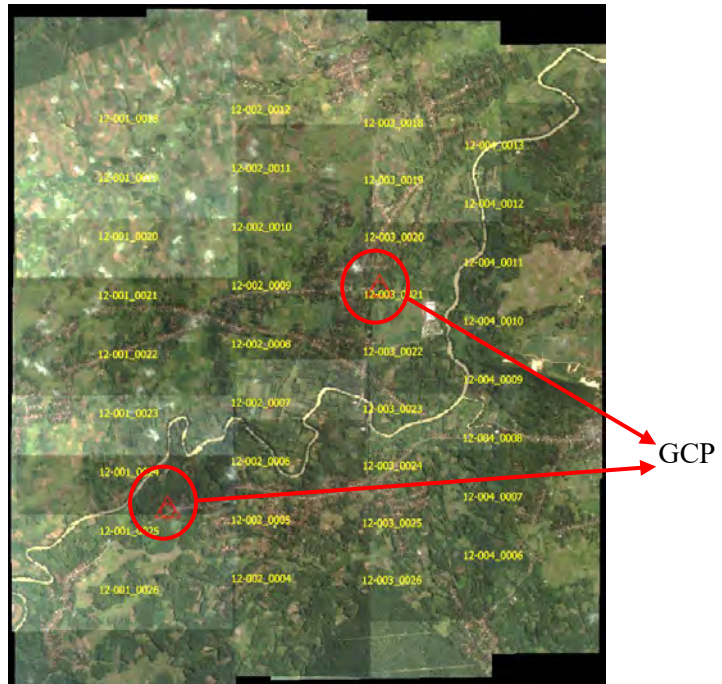
Pada pembuatan model stereo telah disebutkan bahwa hampir seluruh foto digunakan serta seluruh GCP juga digunakan meski tidak berada di dalam foto. Hal ini ditujukan agar koordinat antar GCP saling mengikat sehingga memberikan referensi yang baik terhadap koordinat foto udara yang dimasukkan. Berikut ini adalah hasil dari sebaran GCP yang ada pada penelitian yang digunakan :



Gambar 4.11. Sebaran GCP yang digunakan

Titik warna merah merupakan GCP yang disiapkan dan persebarannya random sehingga tidak seluruh GCP tepat berada di atas foto udara dan tidak semua foto udara memiliki GCP sehingga diperlukan adanya referensi seluruh GCP untuk membentuk koordinat yang diperlukan dalam pembuatan model stereo ini. Sementara itu, garis-garis kuning menunjukkan foto udara yang dimasukkan dalam proses.

Jika dilihat secara keseluruhan, maka kurang lebih foto udara yang ada akan mengalami *overlay* seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.12. Foto udara dan GCP

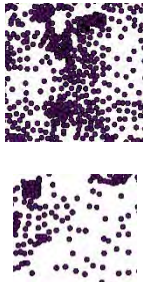
Foto udara yang ada pada gambar di atas *overlay* atau bertampalan satu sama lain, warna kuning menunjukkan nomor foto sedangkan warna merah menunjukkan GCP. Jika dilihat melalui perangkat lunak yang digunakan, model stereo hanya akan terdiri dari 2 buah foto yang saling bertampalan. Namun jika dimasukkan seluruh foto atau banyak foto, maka model tersebut akan bersifat *continuous* atau berlanjut terhadap foto sebelah-sebelahnya sehingga memungkinkan untuk dilakukan digitasi atau *Stereoplotting* dalam wilayah yang luas.

#### 4.2.2 Analisa Pembuatan *Mass point*


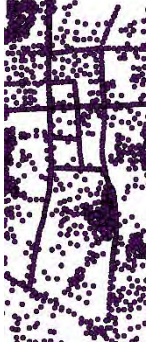
Pelaksanaan kegiatan *Stereoplotting* dilakukan menggunakan perangkat lunak *DAT/EM Summit Evolution*. Hasil dari kegiatan ini adalah data vektor berupa titik-titik sebaran ketinggian atau *mass point*. Digitasi *mass point* dibuat di seluruh permukaan tanah sehingga diharapkan merepresentasikan informasi suatu lokasi dipermukaan tanah yang memuat informasi x, y, maupun z nya. Pembuatan *mass point* tidak menyeluruh dilakukan pada hasil masukan foto yang dilakukan pada tahapan pembuatan model stereo.

Dalam hal ini karena model stereo yang ada bersifat *continuous* satu dengan lainnya, maka diambil area tertentu yang cukup merepresentasikan adanya tutupan lahan berupa jalan, sungai, serta tutupan lahan seperti sawah, ladang, permukiman, lahan kosong. Perbedaan pembuatan *mass point* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Perbedaan pembuatan *mass point* pada unsur yang digunakan

No	Nama Unsur	Hasil
1	Permukaan tanah berupa bentang alam seperti sawah, ladang, lahan kosong, dll	



2	Sungai	
3	Jalan	

Digitasi untuk unsur hidrografi, dalam hal ini sungai, dibuat titik-titik di tepi-tepinya. Titik-titik untuk tepian sungai ini dibuat rapat sehingga dapat merepresentasikan adanya gap suatu obyek. Sementara untuk unsur transportasi, dalam hal ini jalan, titik-titiknya dibuat linier mengikuti jalan.

#### 4.2.3 Analisa Pembuatan DEM

Dari masing-masing metode yaitu TIN, IDW, dan *Kriging* untuk pembuatan DEM memiliki informasi dari nilai *pixel* yang dihasilkan. Dari nilai

*pixel* tersebut dapat diketahui informasi elevasi hasil dari interpolasinya. Tabel di bawah ini menunjukkan presentase dari elevasi yang dihasilkan dari masing-masing metode yang digunakan.

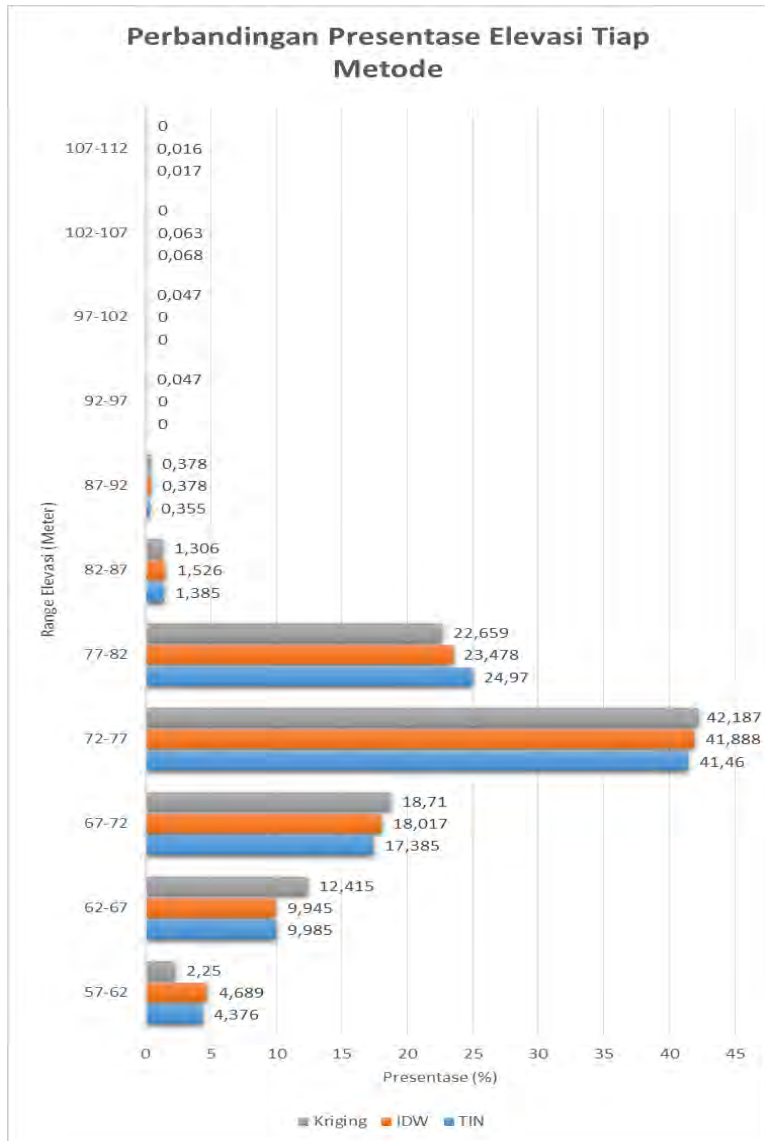
Tabel 4.4 Presentase luasan hasil pembuatan DEM menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging*

<i>Range</i>	Kelas	Metode (nilai dalam %)		
		TIN	IDW	<i>Kriging</i>
57 - 62	1	4,376	4,689	2,25
62 - 67	2	9,985	9,945	12,415
67 - 72	3	17,385	18,017	18,71
72 - 77	4	41,46	41,888	42,187
77 - 82	5	24,97	23,478	22,659
82 - 87	6	1,385	1,526	1,306
87 - 92	7	0,355	0,378	0,378
92 - 97	8	0	0	0,047
97 - 102	9	0	0	0,047
102 - 107	10	0,068	0,063	0
107 - 112	11	0,017	0,016	0
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>100,001</b>	<b>100</b>	<b>99,999</b>

Presentase diambil dari nilai obyek yang direpresentasikan dalam *pixel*. Metode TIN memiliki sebaran presentase yang lebih merata di tiap-tiap kelas ketinggian. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa ketinggian dari tiap kelas pada metode TIN tetap ditampilkan hampir seperti data utama yang digunakan. Sedangkan pada metode IDW yang mengambil prinsip jarak antar titik yang mana semakin dekat jarak tersebut akan semakin

berpengaruh terhadap elevasi yang dihasilkan menunjukkan hasil yang menyerupai metode TIN.

Pada metode *Kriging*, menunjukkan hasil yang paling berbeda dibandingkan yang lain. Dengan menggunakan prinsip korelasi antar titik maka nilai dihitung berdasarkan banyaknya titik sekitar yang terikat serta jarak dari tiap-tiap titik tersebut sehingga menampilkan hasil yang berbeda dibandingkan kedua metode sebelumnya yang menampilkan ketiadaan permukaan yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah.



Gambar 4.13. Perbandingan presentase *range* elevasi dalam grafik

Sesuai dengan Gambar 4.13 yang telah dihimpun dari metode TIN, IDW, dan *Kriging* yang dilakukan dalam penelitian, presentase persebaran ketinggian terbesar terdapat pada *range* 72 – 77 meter diikuti dengan *range* 77 – 82 meter, 62 – 72 meter, 62 – 67 meter, 57 – 62 meter, 82 – 87 meter, 87 – 92 meter dan *range* lain yang muncul berbeda-beda nilainya pada 92 – 112 meter.

Dapat dilihat pada nilai statistik pada Tabel 4.3 mengenai nilai minimal, maksimal, rata-rata, serta standar deviasi dari ketiga metode yang digunakan.

Tabel 4.5. Nilai statistik dari hasil interpolasi dalam satuan meter

Parameter	TIN	IDW	<i>Kriging</i>
Min	58,674	58,679	59,364
Maks	107,638	107,513	99,910
Rata-rata	74,672	74,681	74,614
Standar Deviasi	5,734	5,769	5,600

Dari nilai tersebut dapat dijelaskan bahwa elevasi terkecil terdapat pada metode TIN yaitu sebesar 58,674 diikuti oleh hasil dari metode IDW sebesar 58,679 dan metode *Kriging* sebesar 59,364 sedangkan elevasi terbesar terdapat pada hasil dari metode TIN sebesar 107, 638 diikuti metode IDW sebesar 107,513 dan metode *Kriging* yaitu 99,910. Untuk nilai rata-rata dari hasil elevasi setelah dilakukan interpolasi terbesar yaitu 74,681 pada metode IDW dan yang terkecil yaitu 74,614 pada metode *Kriging*. Sedangkan standar deviasi terbesar terdapat pada metode TIN yaitu 5,734 dan yang terkecil pada metode IDW yaitu 5,600. Hasil pebandingan nilai maksimal dan nilai minimal dari

masing-masing metode ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4.14. Perbandingan nilai maksimal dan minimal metode TIN, IDW, dan *Kriging*

Dari grafik tersebut dapat ditunjukkan nilai maksimal dan minimal metode *Kriging* menunjukkan hasil paling berbeda dibandingkan yang lainnya. *Kriging* sendiri menggunakan parameter yang berbeda dalam perhitungannya dibandingkan dengan metode TIN dan IDW karena metode *Kriging* mengasumsikan bahwa variasi spasial dapat terdiri dari tiga komponen yaitu korelasi spasial, representasi variasi dari variable regional; “lempeng” atau struktur, dan representasi kecenderungan; kesalahan acak (Chang, 2008). Komponen inilah yang membuat estimasi nilai dari interpolasi *Kriging* menjadi berbeda.

#### 4.2.4 Analisa Ketelitian DEM

Sesuai dengan hasil yang ditunjukkan pada RMSE yang menyebutkan bahwa metode TIN menunjukkan hasil RMSE yang paling kecil yaitu sebesar 0,477 diikuti oleh metode IDW sebesar 0,926 dan metode *Kriging* 3,453. Perhitungan selisih elevasi untuk Toleransi untuk RMSE diambil dari akurasi vertikal untuk data elevasi digital hasil penelitian ASPRS *Photogrammetric Applications Division* (PAD) and *Primary Data Acquisition Divisions* (PDAD) tahun 2011. Akurasi vertikalnya ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.6. Akurasi Vertikal ASPRS  
(Sumber : ASPRS, 2011)

Skala Peta	Kelas Akurasi Data Vertikal	RMSEz pada Permukaan Non Vegetasi (cm)
1:100	I	1,0
1:200	II	2,5
1:250	III	5,0
1:500	IV	10,0
1:1.000	V	12,5
1:2.000	VI	20,0
1:2.500	VII	33,3
1:5.000	VIII	66,7
1:10.000	IX	100,0
1:25.000	X	333,3

Dari tabel tersebut, kelas yang sesuai adalah kelas IX untuk data skala 1:10.000 sehingga RMSE maksimumnya adalah 100 cm atau 1 meter untuk area tanpa vegetasi. Dari uji tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk analisa ketelitian DEM yang dibuat dari metode TIN, IDW, dan *Kriging* menunjukkan nilai RMSE seperti pada grafik berikut.



Gambar 4.15. Perbandingan nilai RMSE dalam grafik

Nilai yang memenuhi syarat standar akurasi vertikal ASPRS yang kurang dari 1 meter terdapat pada metode TIN dan IDW.



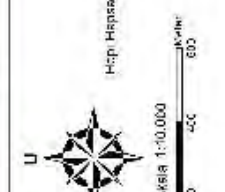
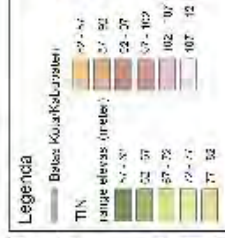
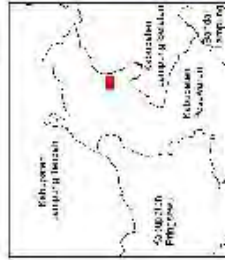
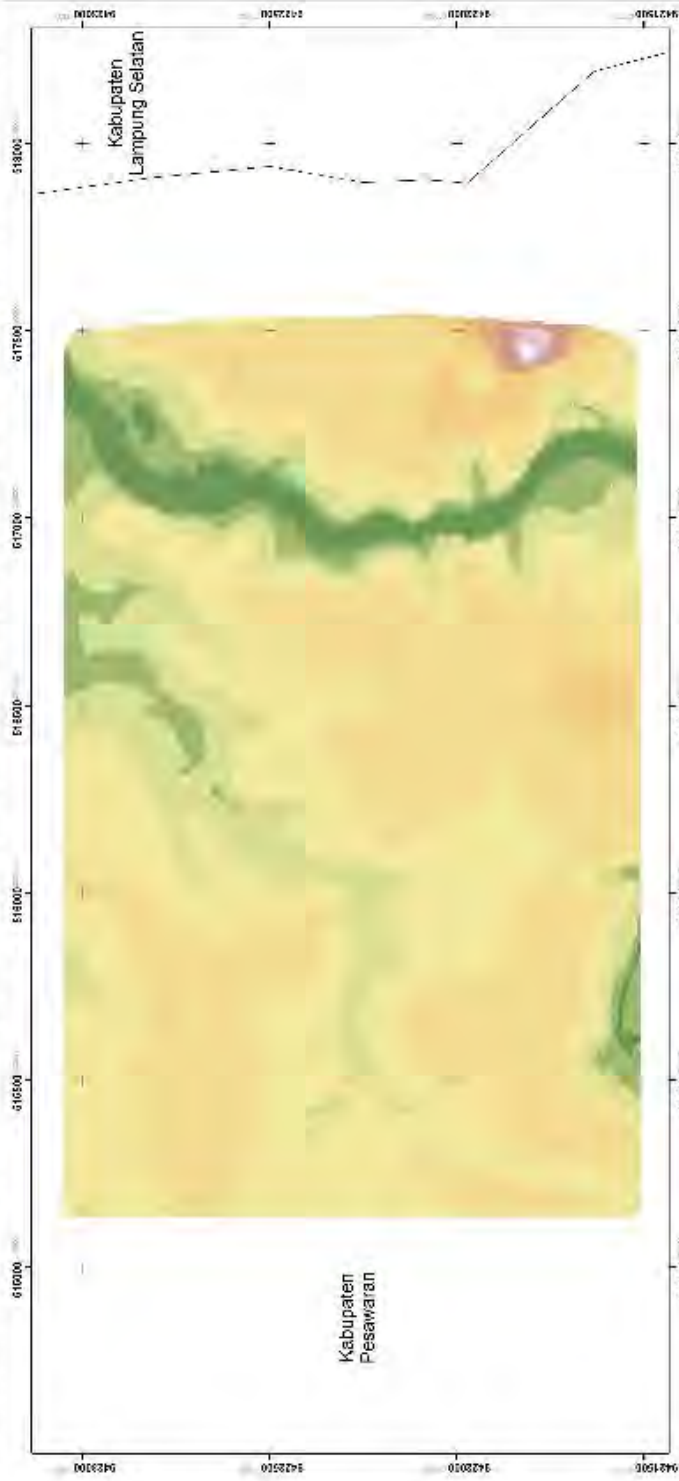
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **LAMPIRAN**

### **Lampiran 1**

1. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode TIN

# PETA PEMBUATAN DEM METODE TIN SEBAGIAN KECAMATAN TEGINENENG KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG



Diklat Oleh :  
Juwita Ariani  
NRP. 3512 100 065

Dosen Pembimbing :  
Haji Hassan Hidayat, S.T, M.Sc

Dibuat Pada :  
Juni 2015



**Lampiran 2**

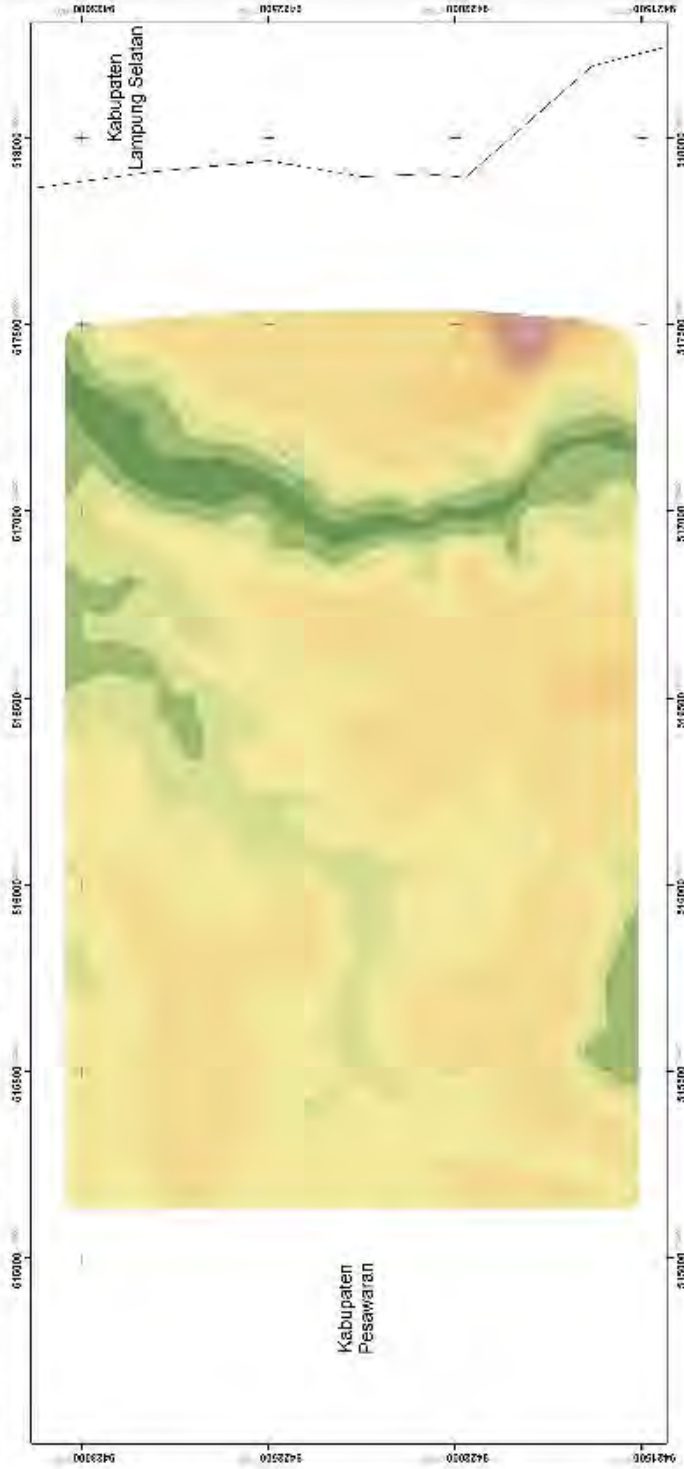
2. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng,  
Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode IDW



**Lampiran 3**

3. Peta DEM Sebagian Wilayah Kecamatan Tegineneng,  
Kabupaten Pesawaran Menggunakan Metode *Kriging*

# PETA PEMBUATAN DEM METODE KRIGING SEBAGIAN KECAMATAN TEGINENENG KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG



**Dibuat Oleh** :  
Juwita Anam  
NRP. 3512 100 056  
Dosen Pembimbing :  
Haji Hapsan Hardayani, S.T., M.Sc

**Dibuat Pada** :  
Juni 2018

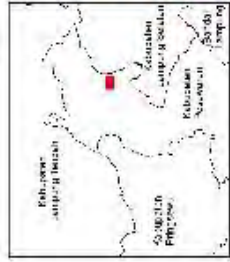
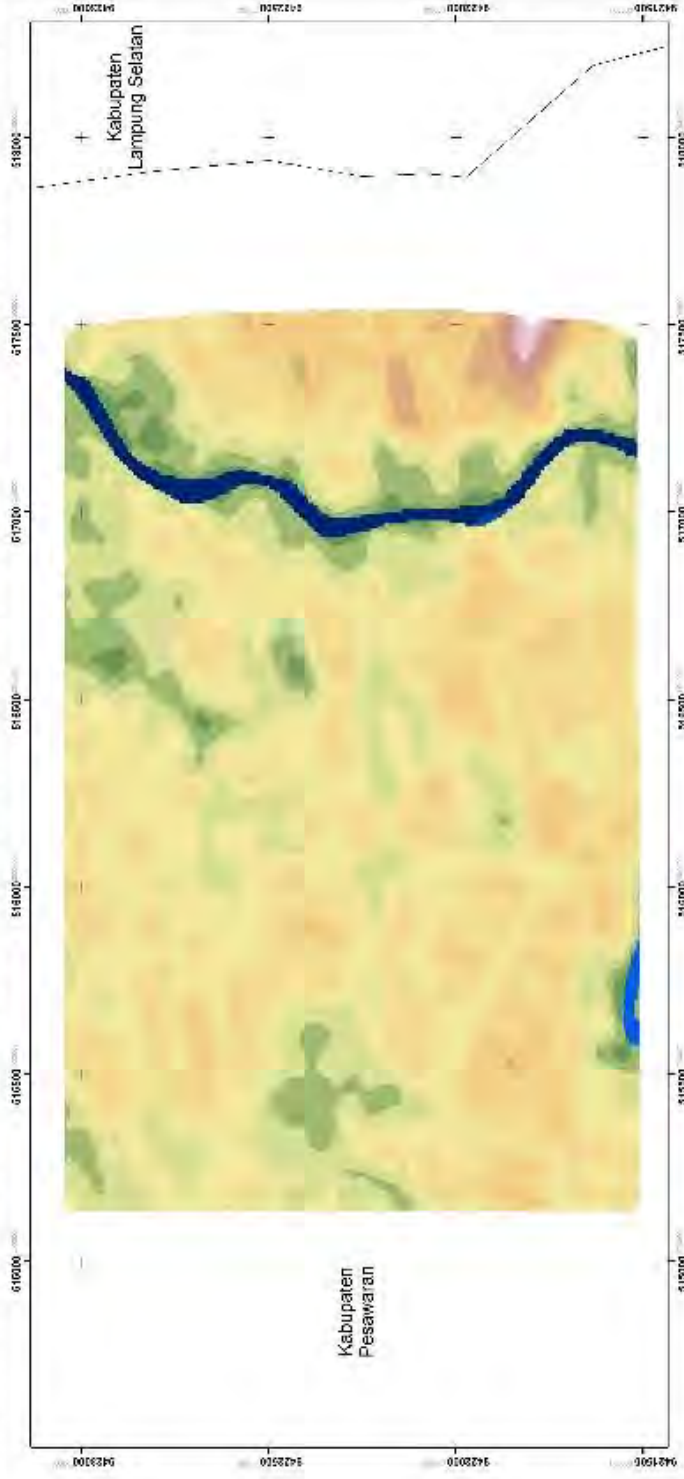


**Lampiran 4**

4. Peta DEM TerraSAR-X sebagian Wilayah Penelitian



**PETA DEM CITRA TERRASAR-X  
SEBAGIAN KECAMATAN TEGINENENG KABUPATEN PESAWARAN, LAMPUNG**

[illegible]

Sumber Data Citra : Citra Satelit Landsat-X  
 Deden Irfan Gus Guspal  
 Sumber Data Vektor : Bambang Permana  
 Datur : WGS 1984  
 Sistem Proyeksi : UTM  
 Zona : 48 S



Dibuat Oleh :  
Juwita Ariani  
NIRP. 3512 100 056

Dosen Pembimbing :  
Rian Handayani, S.T., M.Sc

Dibuat Pada :  
Juni 2018



PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

## Lampiran 5

### 5. Koordinat titik sampel perhitungan RMSE

No	Koordinat (UTM)		Elevasi (dalam meter)			
	X	Y	TerraSAR	TIN	IDW	Kriging
1	517450,772	9421810,267	104,360	107,399	104,419	97,228
2	517488,806	9421806,629	106,124	106,148	103,157	98,075
3	517501,638	9421835,932	102,392	102,094	102,141	97,421
4	517488,780	9421886,666	90,423	90,640	91,096	92,200
5	517487,018	9421879,381	91,851	92,088	91,618	93,397
6	517273,534	9421915,100	84,323	84,170	83,784	83,154
7	517359,259	9422018,288	83,498	83,244	82,808	81,958
8	516019,186	9422960,206	77,421	77,078	76,960	77,002
9	515471,497	9422666,518	81,374	81,054	80,900	80,454
10	515617,019	9422655,935	80,340	80,732	80,707	80,595
11	515839,269	9422468,080	78,793	78,603	78,516	78,387
12	515656,971	9422086,550	78,225	78,422	78,277	77,840
13	515903,034	9421792,862	78,176	78,169	77,840	77,830
14	515289,199	9422091,842	77,456	77,494	76,943	76,797
15	516457,778	9421979,394	81,680	80,936	80,698	79,466
16	516692,596	9422356,426	78,757	78,490	78,390	78,452
17	516702,518	9421747,883	80,458	81,089	80,488	79,982
18	516242,803	9421595,747	79,038	78,882	78,696	78,646
19	516140,277	9421655,279	79,670	78,631	78,613	78,478
20	517359,347	9422199,825	81,224	81,489	81,614	81,461
21	517502,223	9421972,283	84,446	84,758	84,235	84,135
22	517317,014	9422509,388	79,108	79,250	79,406	79,528
23	515790,762	9422837,759	77,260	77,310	77,179	77,326
24	515638,362	9421936,057	77,617	77,759	77,801	77,731

No	Koordinat (UTM)		Elevasi (dalam meter)			
	X	Y	TerraSAR	TIN	IDW	Kriging
25	515451,565	9421805,141	80,229	80,307	80,042	79,701
26	516863,965	9422949,191	70,067	70,065	70,051	69,971
27	516514,714	9422898,391	68,809	68,844	69,070	69,156
28	515667,032	9422280,896	70,004	69,998	70,375	70,743
29	516047,768	9422210,517	69,943	70,120	70,315	70,660
30	515512,261	9421534,725	65,121	65,079	64,758	65,002
31	516486,393	9422763,894	65,877	65,537	65,541	65,589
32	517122,871	9421637,230	65,282	65,187	65,602	65,327
33	517263,453	9423033,968	62,713	62,695	62,715	62,493
34	515666,557	9422871,646	74,874	74,888	74,301	74,640
35	515357,700	9422279,127	73,437	73,798	73,728	73,740
36	515409,558	9422047,880	72,884	72,769	72,887	72,986
37	516400,866	9422443,874	74,267	74,368	74,657	74,578
38	516865,645	9421583,653	74,313	74,419	74,365	74,443
39	515841,785	9422929,185	75,328	75,585	75,230	75,101
40	515640,293	9421655,652	74,700	74,701	74,927	74,397
41	516149,458	9421814,826	76,062	76,201	76,161	76,202
42	516238,888	9422293,282	75,371	75,156	75,327	75,379
43	516108,371	9421811,130	76,600	76,704	76,719	76,288
44	516780,030	9422617,860	75,840	75,820	75,676	75,756
45	516554,202	9421914,324	80,312	80,419	80,268	80,340
46	517194,231	9422134,608	79,967	80,415	79,797	79,837
47	515885,930	9422842,515	78,171	78,097	78,218	78,209
48	516767,986	9422870,451	67,358	67,255	67,309	67,277
49	515732,365	9422805,323	77,654	77,655	77,716	77,814

No	Koordinat (UTM)		Elevasi (dalam meter)			
	X	Y	TerraSAR	TIN	IDW	<i>Kriging</i>
50	516723,673	9422337,473	78,004	78,215	78,215	78,253
51	516621,940	9423030,802	64,873	64,402	64,913	64,936
52	516323,490	9422705,000	67,624	67,538	67,231	67,411
53	516021,110	9422240,151	69,006	69,245	69,278	69,366
54	516427,952	9422816,467	69,081	69,308	69,169	69,267
55	517159,367	9422799,957	62,081	62,687	62,150	61,852

## Lampiran 6

### 6. Perhitungan selisih elevasi untuk RMSE

No	Koordinat (UTM)		$\Delta$ Elevasi (Meter)		
	X	Y	TIN	IDW	Kriging
1	517450,772	9421810,267	3,039	0,059	-7,132
2	517488,806	9421806,629	0,024	-2,967	-8,049
3	517501,638	9421835,932	-0,298	-0,251	-4,971
4	517488,780	9421886,666	0,217	0,673	1,777
5	517487,018	9421879,381	0,237	-0,233	1,546
6	517273,534	9421915,100	-0,153	-0,539	-1,169
7	517359,259	9422018,288	-0,254	-0,69	-1,54
8	516019,186	9422960,206	-0,343	-0,461	-0,419
9	515471,497	9422666,518	-0,32	-0,474	-0,92
10	515617,019	9422655,935	0,392	0,367	0,255
11	515839,269	9422468,080	-0,19	-0,277	-0,406
12	515656,971	9422086,550	0,197	0,052	-0,385
13	515903,034	9421792,862	-0,007	-0,336	-0,346
14	515289,199	9422091,842	0,038	-0,513	-0,659
15	516457,778	9421979,394	-0,744	-0,982	-2,214
16	516692,596	9422356,426	-0,267	-0,367	-0,305
17	516702,518	9421747,883	0,631	0,03	-0,476
18	516242,803	9421595,747	-0,156	-0,342	-0,392
19	516140,277	9421655,279	-1,039	-1,057	-1,192
20	517359,347	9422199,825	0,265	0,39	0,237
21	517502,223	9421972,283	0,312	-0,211	-0,311
22	517317,014	9422509,388	0,142	0,298	0,42
23	515790,762	9422837,759	0,05	-0,081	0,066
24	515638,362	9421936,057	0,142	0,184	0,114

No	Koordinat (UTM)		$\Delta$ Elevasi (Meter)		
	X	Y	TIN	IDW	Kriging
25	515451,565	9421805,141	0,078	-0,187	-0,528
26	516863,965	9422949,191	-0,002	-0,016	-0,096
27	516514,714	9422898,391	0,035	0,261	0,347
28	515667,032	9422280,896	-0,006	0,371	0,739
29	516047,768	9422210,517	0,177	0,372	0,717
30	515512,261	9421534,725	-0,042	-0,363	-0,119
31	516486,393	9422763,894	-0,34	-0,336	-0,288
32	517122,871	9421637,230	-0,095	0,32	0,045
33	517263,453	9423033,968	-0,018	0,002	-0,22
34	515666,557	9422871,646	0,014	-0,573	-0,234
35	515357,700	9422279,127	0,361	0,291	0,303
36	515409,558	9422047,880	-0,115	0,003	0,102
37	516400,866	9422443,874	0,101	0,39	0,311
38	516865,645	9421583,653	0,106	0,052	0,13
39	515841,785	9422929,185	0,257	-0,098	-0,227
40	515640,293	9421655,652	0,001	0,227	-0,303
41	516149,458	9421814,826	0,139	0,099	0,14
42	516238,888	9422293,282	-0,215	-0,044	0,008
43	516108,371	9421811,130	0,104	0,119	-0,312
44	516780,030	9422617,860	-0,02	-0,164	-0,084
45	516554,202	9421914,324	0,107	-0,044	0,028
46	517194,231	9422134,608	0,448	-0,17	-0,13
47	515885,930	9422842,515	-0,074	0,047	0,038
48	516767,986	9422870,451	-0,103	-0,049	-0,081
49	515732,365	9422805,323	0,001	0,062	0,16

No	Koordinat (UTM)		$\Delta$ Elevasi (Meter)		
	X	Y	TIN	IDW	Kriging
50	516723,673	9422337,473	0,211	0,211	0,249
51	516621,940	9423030,802	-0,471	0,04	0,063
52	516323,490	9422705,000	-0,086	-0,393	-0,213
53	516021,110	9422240,151	0,239	0,272	0,36
54	516427,952	9422816,467	0,227	0,088	0,186
55	517159,367	9422799,957	0,606	0,069	-0,229
$\Sigma$			3,54	-6,869	-25,609

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- 1) DEM dapat dibuat menggunakan metode TIN, IDW, dan *Kriging* dari data *mass point* yang diambil dari foto udara. Elevasi dibagi menjadi 11 kelas dengan masing-masing interval ketinggian tiap kelasnya adalah 5 meter. Perbedaan hasil pengolahan DEM dari metode TIN, IDW, dan *Kriging* terdapat pada presentase luasan ketinggian yang dihasilkan. presentase persebaran ketinggian terbesar terdapat pada *range* 72 – 77 meter diikuti dengan *range* 77 – 82 meter, 62 – 72 meter, 62 – 67 meter, 57 – 62 meter, 82 – 87 meter, 87 – 92 meter dan *range* lain yang muncul berbeda-beda nilainya pada 92 – 112 meter. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan penentuan perhitungan olahan dari masing-masing pembuatan DEM.
- 2) Elevasi terkecil terdapat pada metode TIN yaitu sebesar 58,674 diikuti oleh hasil dari metode IDW sebesar 58,679 dan metode *Kriging* sebesar 59,364 sedangkan elevasi terbesar terdapat pada hasil dari metode TIN sebesar 107,638 diikuti metode IDW sebesar 107,513 dan metode *Kriging* yaitu 99,910.
- 3) Hasil perhitungan RMSE menunjukkan bahwa nilai dari TIN menunjukkan hasil terkecil yaitu sebesar 0,477 diikuti oleh metode IDW sebesar 0,926 dan metode *Kriging* 3,453. Dari hasil tersebut nilai yang memenuhi standar perhitungan RMSE adalah TIN dan IDW karena kurang dari sama dengan 1 meter sesuai standar RMSE dari ASPRS. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pembuatan DEM paling baik adalah menggunakan



metode TIN karena memiliki RMSE terkecil dibandingkan lainnya saat diuji dengan menggunakan elevasi DEM dari data TerraSAR-X.

## 5.2 Saran

- 1) Sebaiknya dilakukan pengujian terhadap pembuatan DEM dengan metode lainnya sehingga menghasilkan hasil yang lebih signifikan
- 2) Analisa ketelitian lebih baik menggunakan ICP yang diukur langsung di lapangan dengan menggunakan GPS geodetik dan *Waterpass* agar ketelitian yang dijadikan acuan memiliki hasil yang lebih baik.
- 3) Semakin banyak jumlah sampel yang digunakan dalam perhitungan RMSE maka hasil yang diperoleh akan lebih baik.
- 4) Uji ketelitian dapat ditambahkan dengan metode lain selain RMSE, misalnya ditambah dengan perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*) agar dapat diketahui perbandingannya dengan lebih detail dan dapat diputuskan metode mana yang lebih baik akurasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artanto, Adi (2015). *Perbandingan Metode Interpolasi Berdasarkan Variasi Relief Dalam Pembuatan Digital Elevation Model di Sebagian Wilayah Jawa Timur*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- ASPRS (*American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*). (2011). *ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*.
- Azpuruu, M. dan Ramos, K.D. (2010). *A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimation of Average Electromagnetic Field Magnitude*. Progress in Electromagnetic Research M, Vol. 14, 135-145.
- Bhargava, N., Bhargava, R., Tanwar, P.S. (2013). *Triangulated Irregular Network Model from Mass point*. International Journal of Advanced Computer Research, Vol. 3 No. 2.
- BIG. (2015). *Petunjuk Pelaksanaan Tahapan Stereoplotting*. Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim.
- Chai, T., Draxler, R. R. (2014). *Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? – Arguments Against Avoiding RMSE in the Literature*. Geoscientific Model Development, 7 hal. 1247 – 1250.
- Chang, K.T. (2008). *Introduction to Geographic Information System*. Singapura : McGraw Hill.
- Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Legu dois, S., Silvera, N., Phachomphon, K. (2006). *Accuracy of Interpolation Techniques For The Derivation of Digital Elevation Models in Relation to Landform Types And Data Density*. Geomorphology, 77(1-2), 126–141.
- Childs, C. (2004). *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. ArcUser. ESRI Education Center.
- Collins Jr., Fred. C. (1995). *A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation*. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

- Cressie, Noel. A. C. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. Iowa State University. New York.
- Eguchi, R.T., dkk. (2008). *The Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Management*. The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.
- Erdogan, S. (2009). *A Comparison of Interpolation Methods for Producing Digital Elevation Model at The Field Scale*. Earth Surface Processes and Landforms 34, 366-376. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gamma Design Software. (2005). *Interpolation in GS+*. <http://www.geostatistics.com/OverviewInterpolation.html>.
- Gumus, K. dan Sen, A. (2013). *Comparison of Spatial Interpolation Methods and Multi-Layer Neural Networks for Different Point Distributions on A Digital Elevation Model*. Geodetski vestnik 57/3.
- Hadi, B.S. (2013). *Metode Interpolasi Spasial Dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya)*. Geomedia Vol. 11 No.2.
- Hartoyo, F.A. (2014). *Perbandingan Tingkat Akurasi Digital Surface Model (DSM) Hasil Ekstraksi Citra Stereo CARTOSAT-1 Dengan Citra Stereo ALOS PRISM*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Lam, Nina Siu-Ngan. (1983). *Spatial Interpolation Methods : A Review*. The American Cartographer Vol. 10 No. 2, 129-149.
- Li, J. dan Heap, D. (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientist*. Geoscience Australia. Record 2008/23, 137 pp.
- Martinoni, D., Bernhard, L. (1998). *A Conceptual Framework for Reliable Digital Terrain Modelling*. Department of Geography, University of Zurich. Swiss.
- Miller, C.L, Laflamme, R.A. (1958). *The Digital Terrain Model : Theory & Application*. Cambridge, Mass. MIT Photogrammetry Laboratory.

- Nuset, D. dan Dug, S. (2012). *Applying The Inverse Distance Weighting and Kriging Methods of The Spatial Interpolation on The Mapping The Annual Presipitation in Bosnia and Herzegovina*. International Congress on Environtmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet. Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany.
- Perko, R., dkk. (2015). *Advanced DTM Generation from Very High Resolution Satellite Stereo Images*. ISPRS Annals of the Photogrmmetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. II-3 Hal. 165-72.
- Peta Kabupaten Pesawaran.  
(<http://puncakpesawaran.blogspot.co.id/2013/05/peta-kabupaten-pesawaran.html>). Diakses tanggal 7 Mei 2016.
- Pramono, G. H. (2008). *Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi*. Forum Geografi Vol. 22 No.1 Hal. 97-110.
- Roscoe, J.T. (1975). *Fundamental Research Statistics for the Behavioural Sciences* Edisi kedua. New York: Holt Rinehart & Winston.
- Rosytha, A. dan Taufik M. (2011). *Studi Analisa Banjir Dengan Menggunakan Teknologi SIG di Kabupaten Bojonegoro*. Seminar Nasional VII Teknik Sipil ITS. Surabaya.
- Sekaran, U. (2006). *Metodologi Penelitian untuk Bisnis*. Jakarta : Salemba Empat.
- Setianto, A. dan Triandini, T. (2013). *Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis*. Journal SE Asian Application Geology. Vol. 5(1) Hal. 21-29.
- Shepard, D. (1968). *A Two Dimensional Interpolation Function for Irregularly Spaced Data*. Proceeding 23<sup>rd</sup> National Conference ACM Page 517-523.
- Sterling, D.L. (2003). *A Comparison of Spatial Interpolation Techniques for Determining Shoaling Rates of The Atlantic Ocean*. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia.

- Tempfli, K. (1991). *DTM and Differential Modelling*. Proceedings ISPRS and OEEPE Joint Workshop on Updating Digital Data by Photogrammetric Methods hal. 193-200. Oxford, England.
- Trisakti, B. (2010). *Pengembangan Metode Ekstraksi DEM (Digital Elevation Model) dari Data ALOS PRISM*. LAPAN.
- Tsai, V. J. D. (1993). *Delaunay Triangulations in TIN Creation : An Overview and A Linear Time Algorithm*. International Journal of Geographical Information Systems 7:501-24
- USGS. (2010). *Digital Elevation Model (DEM) Creation and Analysis*. Science Education Lesson.
- Watson, D. F., Phillip, G. M. (1984). *Systematics Triangulation. Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 26: 217-23.
- Weibel R., Heller, M. (1990). *A Framework for Digital Terrain Modeling*. Prosiding dari 4th International Symposium on Spatial Data Handling. International Geographical Union, Columbus Ohio, pp. 219-29
- Wolf, Paul R., DeWitt, Bon A. (2000). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*. McGraw-Hill Higher Education. 3<sup>rd</sup> Edition.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Trenggalek, 16 Oktober 1994, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kartika V-27, SDN 3 Surodakan, SMP Negeri 1 Trenggalek, dan SMA Negeri 1 Trenggalek, Kabupaten Trenggalek. Setelah lulus dari SMA penulis memutuskan untuk mengikuti program SNMPTN Undangan di salah satu universitas negeri namun gagal, kemudian mendaftar SNMPTN Tulis dan diterima sebagai salah satu mahasiswa Teknik Geomatika ITS tahun 2012. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian Geospasial. Sejak SMA penulis aktif dalam kegiatan OSIS sebagai Ketua Bidang Pembinaan dalam Bahasa Inggris dan Ekstrakurikuler English Club sebagai bendahara. Prestasi yang pernah diraih adalah sebagai juara II Debat Bahasa Inggris se-Kabupaten Trenggalek serta semifinalis dalam beberapa kompetisi Bahasa Inggris lainnya baik dalam tingkat regional maupun nasional. Sedangkan di bangku kuliah aktif sebagai staf Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika dan menjadi panitia dalam beberapa kegiatan di kampus. Penulis juga pernah bergabung menjadi anggota salah satu organisasi pemuda internasional AIESEC dan bertindak sebagai *volunteer* dalam beberapa kegiatan.